

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE MESTRADO EM GEOGRAFIA**

***Caracterização Hidrogeológica e Hidroquímica da  
Formação Rio Bonito na Região de Siderópolis  
e Adjacências***

**Edson Luiz Ávila**

**Orientador: Prof. Dr. Cesar Augusto Pompeo  
Co-Orientador: Prof. Dr. Armando B. Castilhos Junior**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

***ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Utilização e Conservação  
de Recursos Naturais***

**Florianópolis, SC  
Janeiro, 1992**

## SUMARIO

FOLHA

AGRADECIMENTOS .....	i
RESUMO .....	iii
ABSTRACT.....	iv

### CAPÍTULO I - GENERALIDADES

1. Introdução .....	2
2. Objetivos do Estudo .....	7
3. Caracterização da Area .....	10
3.1. Aspectos Sócio - Econômicos .....	11
3.1.1. População .....	11
3.1.2. Agropecuária .....	13
3.1.3. Indústria .....	13
3.1.4. Sistema Viário .....	14
3.1.5. Meio Ambiente .....	15
3.2. Aspectos Fisiográficos .....	16
3.2.1. Pluviometria .....	18
3.2.2. Temperatura .....	21
3.2.3. Umidade Relativa .....	21
3.2.4. Escoamento Superficial .....	23
3.2.5. Geomorfologia .....	25
3.2.6. Vegetação .....	27
3.2.7. Geologia Local .....	28
3.2.7.1. Formação Rio do Sul .....	29
3.2.7.2. Formação Rio Bonito .....	29

3.2.7.2.1.	Comportamento Estrutural da Formação Rio Bonito .....	33
3.2.7.3.	Formação Palermo .....	34
3.2.7.4.	Formação Irati .....	36
3.2.7.5.	Formação Serra Alta .....	37
3.2.7.6.	Formação Serra Geral .....	37
3.2.7.7.	Sedimentos Quaternários .....	37
3.2.8.	Tectônica .....	38

## CAPÍTULO II - SINOPSE DO CONHECIMENTO DA FORMAÇÃO RIO BONITO

1.	Considerações Gerais .....	41
2.	Geologia .....	42
3.	Hidrogeologia .....	54
4.	Hidrodinâmica .....	58
5.	Hidroquímica .....	61

## CAPÍTULO III - METODOLOGIA

1.	Laboratório .....	67
1.1	Revisão Bibliográfica .....	67
2.	Trabalhos de Campo e Laboratório .....	68
2.1-	Hidrodinâmica .....	72
2.2-	Hidroquímica .....	77
2.3-	Tratamento Matemático-Estatístico dos Resultados .....	80

## CAPÍTULO IV - HIDROGEOLOGIA DA REGIÃO DE SIDERÓPOLIS E ADJACÊNCIAS.

1.	Generalidades .....	83
----	---------------------	----

2.	Características Hidrogeológicas .....	84
2.1.	Formação Rio do Sul .....	84
2.2.	Formação Rio Bonito .....	84
2.2.1.	Parâmetros Hidrodinâmicos .....	87
2.2.1.1.	Distribuição Estatística dos Parâmetros Hidrodinâmicos .....	96
2.2.1.2.	Desempenho Hidrodinâmico .....	96
2.2.2.	Membro Siderópolis .....	111
2.2.2.1.	Nível Piezométrico .....	115
2.2.3.	Membro Paraguaçu .....	115
2.2.4.	Membro Triunfo .....	116
2.3.	Formação Palermo .....	118
2.4.	Formação Irati .....	118
2.5.	Formação Serra Alta .....	119
2.6.	Formação Serra Geral .....	119
2.7.	Sedimentos Quaternários .....	120
3.	Balanco Hídrico .....	120

## CAPÍTULO - V - HIDROQUÍMICA DA FORMAÇÃO RIO BONITO

1.	Generalidades .....	126
2.	Origem, Formação e Constituição do Carvão .....	127
2.1.	Minerais Sulfetados .....	129
2.2.	Metais Pesados .....	130
3.	Rejeitos Provenientes da Mineração do Carvão .....	130
3.1.	Alteração da Pirita .....	131
4.	Qualidade da Chuva e do Ar .....	133
5.	Características Físico - Químicas e Químicas da Água Subterrânea Contida no Membro Siderópolis .....	135

5.1.	Amostragem - 1984 e 1990 .....	136
5.1.1.	Classificação das Aguas .....	143
5.1.2.	Qualidade da Agua Para os Diversos Usos ..	155
5.1.2.1.	Consumo Humano .....	155
5.1.2.2.	Uso Agrícola .....	170
5.1.2.3.	Uso Industrial .....	178
6.	Interação Agua X Rocha .....	182
6.1.	Origem dos Cátions .....	183
6.2.	Origem dos Ânions .....	188
7.	Interpretações dos Mapas de Índices Hidroquímicos ...	192
7.1.	Relação $rMg^{++}/rCa^{++}$ .....	194
7.2.	Relação $rCl^{-}/rHCO_3^{-}$ .....	195
7.3.	Relação $rK^{+}/rNa^{+}$ .....	196
7.4.	Relação $rNa^{+} + K^{+}/rCa^{++} + Mg^{++}$ .....	196
7.5.	Relação $rCl^{-} - (Na^{+} + Cl^{-})/rCl^{-}$ .....	196
8.	Interpretações dos Mapas Hidroquímicos .....	197
9.	Diagnóstico das Variações Hidroquímicas Observadas nas Campanhas de 1984 e 1990 .....	201
10.	Avaliação do Grau de Poluição no Nível das Aguas Subterrâneas do Membro Siderópolis .....	208
11.	Características Físico - Químicas e Químicas da Agua Subterrânea Contida no Membro Paraguaçu .....	211
12.	Características Físico - Químicas e Químicas da Agua Subterrânea Contida no Membro Triunfo .....	211
12.1.	Generalidades .....	212
12.2.	Classificação das Aguas .....	213
12.3.	Qualidade da Agua Para os Diversos Usos ..	219
12.3.1.	Consumo Humano .....	219
12.3.2.	Uso Agrícola .....	223

12.3.3.	Uso Industrial .....	225
12.4.	Hidroquímica dos Ions Maiores .....	226
CAPÍTULO - VI - CONCLUSÕES .....		229
BIBLIOGRAFIA .....		236
ANEXO 1.	INVENTARIO DOS DADOS HIDROLÓGICOS E HIDRO- GEOLÓGICOS	
ANEXO 2.	RESULTADOS DAS ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E QUÍMICAS DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	
ANEXO 3.	MAPAS GEOLÓGICO, HIDROGELÓGICO, PERFIL HIDRO- GEOLÓGICO, DE ÍNDICES HIDROQUÍMICOS, MAPAS HIDROQUÍMICOS.	

## SUMARIO DAS TABELAS

Tabela 1-	Distribuição da População dos Municípios de Criciúma, Siderópolis e Nova Veneza.
Tabela 2-	Características Hidrogeológicas da Formação Rio Bonito, segundo Nunes et alii (1973).
Tabela 3-	Resultados das Determinações das Freqüências e Média da Capacidade Específica.
Tabela 4-	Resultados das Determinações das Freqüências e Média da Transmissividade.
Tabela 5-	Resultados das Determinações das Freqüências e Média da Vazão.
Tabela 6-	Resultados das Determinações das Freqüências e Média da Profundidade.
Tabela 7-	Resultados das Determinações das Freqüências e Média do Nível Estático.
Tabela 8-	Resultados das Determinações das Freqüências e Média do Nível Dinâmico.
Tabelas 9 e 10-	Testes de Bombeamento.
Tabela 11-	Características Hidrodinâmicas da Formação Rio Bonito, através dos Testes de Bombeamento nos Poços P3 e C1-15C.
Tabela 12-	Resultados dos Valores da Velocidade, Direção e Sentido de Fluxo da Água Subterrânea no Membro Siderópolis a partir de Rádio Isótopos executados por Machado et alii (1984).
Tabela 13-	Resultados da Qualidade do Ar na Região Carbonífera.
Tabela 14-	Classificação da Água Subterrânea quanto a Dureza, Segundo Klut Olszewski.
Tabela 15-	Resultado da Classificação da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Piper - Amostragem 1984.
Tabela 16-	Resultado da Classificação da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Piper - Amostragem 1990.

- Tabela 17- Resultado da Classificação da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Chtchoukarew - Slavianov - Amostragem 1984.
- Tabela 18- Resultado da Classificação da Água Subterrânea do Membro Siderópolis,segundo Chtchoukarew-Slavianov - Amostragem 1990.
- Tabela 19- Aptidão da Água Subterrânea do Membro Siderópolis para Consumo Humano com base no Decreto 12.846 -1978. Amostragem 1984 - 1990.
- Tabela 20- Aptidão da Água Subterrânea do Membro Siderópolis quanto a Potabilidade, segundo Schoeller-Berkaloff. Amostragem 1984 - 1990.
- Tabela 21- Aptidão da Água Subterrânea do Membro Siderópolis para Irrigação com base no Diagrama e nos Padrões do Laboratório de Salinidade de Ribersidae, do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. Amostragem 1984.
- Tabela 22- Aptidão da Água Subterrânea do Membro Siderópolis para Irrigação com base no Diagrama e nos Padrões do Laboratório de Salinidade de Ribersidae do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. Amostragem 1990.
- Tabela 23- Tolerâncias de Qualidade da Água para Aplicações Industriais,segundo Logan. Valores expresssos em mg/l exceto o pH.
- Tabela 24- Resultados das Análises da Água Subterrânea do Membro Siderópolis para Uso Industrial, segundo Logan. Amostragem 1984 - 1990.
- Tabela 25- Resultados das Relações dos índices Hidroquímicos na Água Subterrânea do Membro Siderópolis. Amostragem 1984.
- Tabela 26- Fatores Indicativos de Contaminação de Água,segundo EPA, DRINKING WATER STANDARDS, SUDENE ELEMENTOS DE HIDROGEOLOGIA e LOGAN.
- Tabela 27- Avaliação do Grau de Contaminação da Água Subterrânea do Membro de Siderópolis. Amostragem 1984-1990.
- Tabela 28- Resultado das Classificação da Água Subterrânea do Membro Triunfo,segundo Diagrama de Piper.



- Tabela 29- Resultado da Classificação da Água Subterrânea do Membro Triunfo, segundo Diagrama Chtchoukarew-Slavianov.
- Tabela 30- Aptidão da Água Subterrânea do Membro Triunfo com base no Decreto 12.846-1978.
- Tabela 31- Aptidão da Água Subterrânea do Membro Triunfo para Irrigação com base no Diagrama e nos Padrões do Laboratório de Salinidade de Ribersidae, do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos.
- Tabela 32- Resultado das Análises da Água Subterrânea do Membro Triunfo para Uso Industrial.

#### SUMARIO DE QUADROS

- Quadro 1 - Coluna Estratigráfica da Área de Estudo Segundo Schneider et alii, 1974

#### SUMARIO DAS FIGURAS

- Figura 1 - Mapa de Localização da Região Sul.
- Figura 2 - Mapa de Localização da Área de Estudo.
- Figura 3 - Mapa de Localização da Bacia do Paraná.
- Figura 4 - Precipitação Anual (mm) - Estação Meteorológica de Forquilha - Anos 1946-1990.
- Figura 5 - Precipitação Anual (mm) - Estação Meteorológica de Urussanga - Anos 1927-1990.
- Figura 6 - Médias Mensais da Temperatura (° C) e Umidade do Ar (%) - Estação Meteorológica de Urussanga - Anos 1927-1990.
- Figura 7 - Descargas Médias Anuais do Rio Mãe Luzia Estação Forquilha - Anos 1943-1966. Fonte - D.N.A.A.E.
- Figura 8 - Mapa da Bacia Hidrográfica dos rios Mãe Luzia e Sangão.
- Figura 9 - Mapa Geológico.
- Figura 10- Mapa de Isópacas.

- Figura 11- Mapa Estrutural da Formação Rio Bonito.
- Figura 12- Mapa de Localização da Bacia Carbonífera Sul Catarinense.
- Figura 13- Mapa Hidrogeológico.
- Figura 14- Paineis da Formação Rio Bonito.
- Figura 15- Distribuição de Frequência da Capacidade Específica e da Transmissividade.
- Figura 16- Distribuição de Frequência da Vazão e Profundidade.
- Figura 17- Distribuição de Frequência do Nível Estático e Dinâmico.
- Figura 18- Gráfico Tempo X Rebaixamento de Nível do Poço P3- Vazão 80 m<sup>3</sup>/h.
- Figura 19- Gráfico Tempo X Recuperação de Nível do Poço P3.
- Figuras - Gráfico Tempo X Rebaixamento de Nível do Poço C1- 20 e 21 150 Vazões 5,28 e 10,15 m<sup>3</sup>/h.
- Figura 22- Gráfico Tempo X Rebaixamento de Nível do Poço C1- 150 Vazão 15,84 m<sup>3</sup>/h.
- Figura 23- Gráfico Tempo X Recuperação de Nível do Poço C1.
- Figura 24- Curva Característica do Poço P3 - Vazão (m<sup>3</sup>/h) X Descenso (m) e Vazão Específica (m<sup>3</sup>/h/m) X Descenso (m).
- Figura 25- Curva Característica do Poço C1-150- Vazão (m<sup>3</sup>/h) X Descenso (m) e Vazão Específica m<sup>3</sup>/h/m X Descenso (m).
- Figura 26- Perfil Hidrogeológico.
- Figura 27- Mapa Isopiezométrico.
- Figura 28- Classificação da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Diagrama de Piper. Teores em Porcentagem em meq/l. Amostragem 1984.
- Figura 29- Classificação Aniônica da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Diagrama de Chitchooukarew- Slavianov. Teores em Porcentagem em meq/l. Amostragem 1984.

- Figura 30- Classificação Catiônica da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Diagrama de Chtchoukarew-Slavianov. Teores em Porcentagem em meq/l. Amostragem 1984.
- Figura 31- Classificação da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Diagrama de Piper. Teores em Porcentagem em (meq/l). Amostragem 1990.
- Figura 32- Classificação Aniônica da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Diagrama de Chtchoukarew-Slavianov. Teores em Porcentagem em meq/l. Amostragem 1990.
- Figura 33- Classificação Catiônica da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Diagrama de Chtchoukarew-Slavianov. Teores em Porcentagem em meq/l. Amostragem 1990.
- Figuras - Classificação da Água Subterrânea do Membro 34 a 38 Siderópolis, segundo Diagrama de Schoeller - Berkaloff. Teores em mg/l. Amostragem 1984.
- Figuras - Classificação da Água Subterrânea do Membro 39 a 44 Siderópolis, segundo Diagrama de Schoeller - Berkaloff. Teores em mg/l. Amostragem 1990.
- Figura 45- Classificação da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Diagrama de SAR. Razão de Adsorção do Sódio (meq/l) X Condutividade Elétrica ( $\mu$ mh/cm). Amostragem 1984.
- Figura 46- Classificação da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Diagrama de SAR. Razão de Adsorção de Sódio (meq/l) X Condutividade Elétrica ( $\mu$ mh/cm). Amostragem 1990.
- Figura 47- Mapa de Localização das atividades de lavra de carvão.
- Figura 48- Mapa de índices Hidroquímicos -  $rMg^{++}/rCa^{++}$  e  $rCl^{-}/rHCO_3^{-}$  da Água Subterrânea do Membro Siderópolis. Amostragem 1984.
- Figura 49- Mapa de índices Hidroquímicos -  $rNa^{+} + K^{+}/rCa^{++} + Mg^{++}$  e  $rCl^{-} - (Na^{+} + K^{+})/rCl^{-}$  da Água Subterrânea do Membro Siderópolis. Amostragem 1984.
- Figuras - Mapas de Isoteores de Bicarbonato, Cloreto e 50 e 51 Sulfato da Água Subterrânea do Membro Siderópolis. Expresso em Porcentagem de meq/l total. Amostragem 1984 e 1990 (respectivamente).

- Figura 52 e 53 - Mapas de Isoteores de Sódio, Magnésio e Cálcio do Membro Siderópolis. Expresso em Porcentagem de meq/l total. Amostragem 1984 e 1990 (respectivamente).
- Figuras 54 e 55 - Mapas de Isoteores de pH e Acidez da Água Subterrânea do Membro Siderópolis. pH expresso em números absolutos e acidez em mg/l de  $\text{CaCO}_3$ . Amostragem 1984 e 1990 (respectivamente).
- Figuras 56 e 57 - Mapas de Isoteores de Resíduo Seco e Condutividade Elétrica da Água Subterrânea do Membro Siderópolis. Resíduo Seco expresso em mg/l e a Condutividade em  $\mu\text{mhos/cm}$ . Amostragem 1984 e 1990 (respectivamente).
- Figuras 58 a 63 - Diagramas de Análises de Água, segundo Stiff. Expresso em Porcentagem de meq/l.
- Figura 64 - Mapa de Distribuição da Classificação Química da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Chtchoukarew-Slavianov.
- Figura 65 - Classificação da Água Subterrânea do Membro Triunfo, segundo Diagrama de Piper. Teores em Porcentagem de meq/l.
- Figura 66 - Classificação Aniônica da Água Subterrânea do Membro Triunfo, segundo Diagrama de Chtchoukarew-Slavianov. Teores em Porcentagem de meq/l.
- Figura 67 - Classificação Catiônica da Água Subterrânea do Membro Triunfo, segundo Diagrama de Chtchoukarew-Slavianov. Teores em Porcentagem de Miliequivalentes (meq/l).
- Figuras 68 e 69 - Classificação da Água Subterrânea do Membro Triunfo, segundo Diagrama de Schoeller-Berkaloff. Teores em mg/l.
- Figura 70 - Classificação da Água Subterrânea para Irrigação, segundo Diagrama de SAR. Razão de Adsorção de Sódio (meq/l)  $\times$  Condutividade Elétrica ( $\mu\text{mhos/cm}$ )

## AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação foi possível devido a colaboração de vários profissionais e pesquisadores e o apoio de algumas instituições, aos quais o autor externa a sua mais sincera e profunda gratidão.

### Agradecimentos Especiais:

- Aos Profs. Drs. Cesar Augusto Pompeo e Armando B. Castilhos Jr. da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), pela orientação e acompanhamento em todos os momentos do trabalho.

- A Dario Valiati, geólogo da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), sediada na cidade de Criciúma, pela participação na coleta das amostras e pelas inúmeras elucidicações das questões referente a geologia da região estudada e dos problemas ambientais decorrentes da atividade da lavra do carvão.

- Amália Puccinelli da Silva, geóloga, pela leitura, crítica e troca de idéias sobre os problemas ambientais da região carbonífera.

- A Eliane dos Santos, geóloga da Delegacia do MINFRA/SC, pelas críticas e discussões sobre as questões relativas a hidrogeologia e hidroquímica, como também o apoio na montagem deste trabalho.

- A Vilson Simão, geólogo da Companhia Carbonífera Urussanga, por permitir a realização das análises das amostras no laboratório da Companhia Rio Deserto.

- A Carlos Alfredo Bortoluzzi, ex-Diretor do 119 DS. Regional do Departamento Nacional da Produção Mineral, pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa.

- Ao Bel. Claudio José Duarte, Delegado do Ministério da Infra-Estrutura (MINFRA)- SC e ao Eng. Luiz Felipe dos Reis Seara Chefe do Serviço de Mineração Santa Catarina, pela liberação do horário de trabalho, quando dos constantes deslocamentos à Universidade.

- A Leziro M. da Silva, geólogo da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), pelo incentivo e esclarecimentos sobre dúvidas pertinentes ao assunto em questão.

- A Roberto Issler, professor aposentado da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), pela crítica e disposição para a troca de idéias e orientação na elaboração dos gráficos.

A Victor Hugo Froner Bicca, geólogo da Delegacia do MINFRA/SC, pelas inúmeras opiniões sobre o tema do trabalho.

A Ricardo Peçanha, geólogo da Delegacia do MINFRA/SC pela ajuda nos trabalhos de computação.

Aos geólogos Jesse Otto Freitas e Ananélia M. Silva pelo apoio nos trabalhos finais.

A Renato dos Quadros Mânica, geólogo da empresa Geologia e Consultoria Ltda - GEOCON - pelo apoio na execução da planimetria.

- Aos Profs. Drs. Luiz F. Scheibe e Sandra Maria de Arruda Furtado da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), pelas críticas aos mapas hidroquímicos.

- A Lúcia Pinto Camargo e Giowany Pereira de Souza, desenhistas do Serviço de Mineração Santa Catarina e da CASAN, pelo incansável trabalho na execução dos desenhos de gráficos e mapas.

A Maria Eliete Oczkowski e Marcio Pereira da Silva auxiliares da Delegacia do MINFRA/SC, pela colaboração na execução deste trabalho

- Aos Srs. Marcelo Martins da Silva e José Antonio França, motoristas da Delegacia do MINFRA/SC, pelo dedicado acompanhamento e auxílio na coleta das amostras realizada no ano de 1990.

\_ Ao Departamento de Geociências da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), pelo apoio prestado.

## RESUMO

A área estudada abrange parte dos municípios de Criciúma, Siderópolis e Nova Veneza, situados no sul do Estado de Santa Catarina. Na região ocorrem rochas sedimentares da Formação Rio Bonito, de litologia variável, que se constitui no principal aquífero. A área aflorante é de 84,5 km<sup>2</sup> e a atividade de mineração das lentes de carvão que ocorrem nesta formação é intensa, fazendo com que grande volume de efluentes líquidos se infiltrem neste aquífero.

Em um levantamento feito junto às empresas de perfuração e órgãos do poder público, foi possível reunir 37 (trinta e sete) relatórios de poços tubulares. Com base no processamento dos dados analisou-se o comportamento hidrodinâmico, sendo confeccionados Histogramas de Classes: profundidade, vazão, nível estático e dinâmico, capacidade específica e transmissividade, comportamento hidroquímico e sua interrelação, zoneamento hidroquímico, estudo da evolução da composição química, percolação no meio aquífero incluindo a análise de aptidão a diversos usos das águas.

Os resultados das análises químicas possibilitaram caracterizar que a água subterrânea contida no Membro Siderópolis e que está sob a influência da mineração do carvão pertence a tipos químicos variados e é inadequada para diversos usos. As características hidroquímicas da água subterrânea contida no Membro Triunfo apresentam em geral teores salinos baixos e pertencem a diversos tipos químicos, sendo, portanto, adequada para as mais diversas aptidões.

## ABSTRACT

The studied area belongs to the cities of Criciúma, Siderópolis and Nova Veneza, in the south of Santa Catarina.

In that region we can find sedimentary rocks from "Formação Rio Bonito" with variable litology, the most important watery rock bed. The area where it appears has 84,5 km<sup>2</sup> and the mining activity of coal beds that occurs in that "formação" is big and a great quantity of liquid effluents get in those watery rock beds.

A study made within several companies and government departments, gave us 37 (thirty seven) reports about wells. Based on the data analyses of the hydrodynamic behavior, good graphs were made: deepness, flow, static and dynamic levels, specific capacity and transmissibility, behavior and its connections, "zoneamento" hydrochemical, the study of the evolution of the chemical composition "percolation" in the watery way including analyses of the many uses of water.

The results of the chemical analyses can clearly show what the underground water in "Membro Siderópolis" is under coal mining influence, belongs to several chemical types and is no good to be used in several cases.

The hydrochemical characteristics of the underground water in "Membro Triunfo" shows, in general, low salts contents and has several types of chemistry. It is able to the most variable uses.



## CAPÍTULO I

### GENERALIDADES

## 1. - INTRODUÇÃO

A área objeto de estudo se encontra encravada na região sul do Brasil (figura 1) e especificamente envolve os territórios dos municípios de Criciúma, Siderópolis e Nova Veneza (figura 2). Esta região caracteriza-se como a maior produtora de carvão mineral do país. Em face a esta atividade os problemas ambientais são críticos inviabilizando a utilização de alguns recursos naturais, principalmente a água subterrânea para o consumo humano, para a vida aquática e para a irrigação.

A sequência de rochas que constitui o substrato rochoso na área de estudo, pertence ao Grupo Itararé, Grupo Guatá, Grupo Passa Dois e Grupo São Bento. Dentre as várias unidades geológicas a Formação Rio Bonito, pelos seus caracteres litológicos, extensão e potência, configuram esta formação como a unidade aquífera mais importante da região carbonífera. As formações de constituição litológica predominantemente pelítica são de baixa permeabilidade (aquicluda) e a rocha ígnea intrusiva (sill) é um aquífero local restrito às zonas de fraturas.

A Formação Rio Bonito, Grupo Guatá, é uma das mais importantes unidades litoestratigráficas da Bacia do Paraná, pois encerra as maiores reservas de carvão (coqueificável) e economicamente exploráveis do território nacional. Possui ainda, significativas reservas de carvões energéticos, argilas

REGIÃO SUL

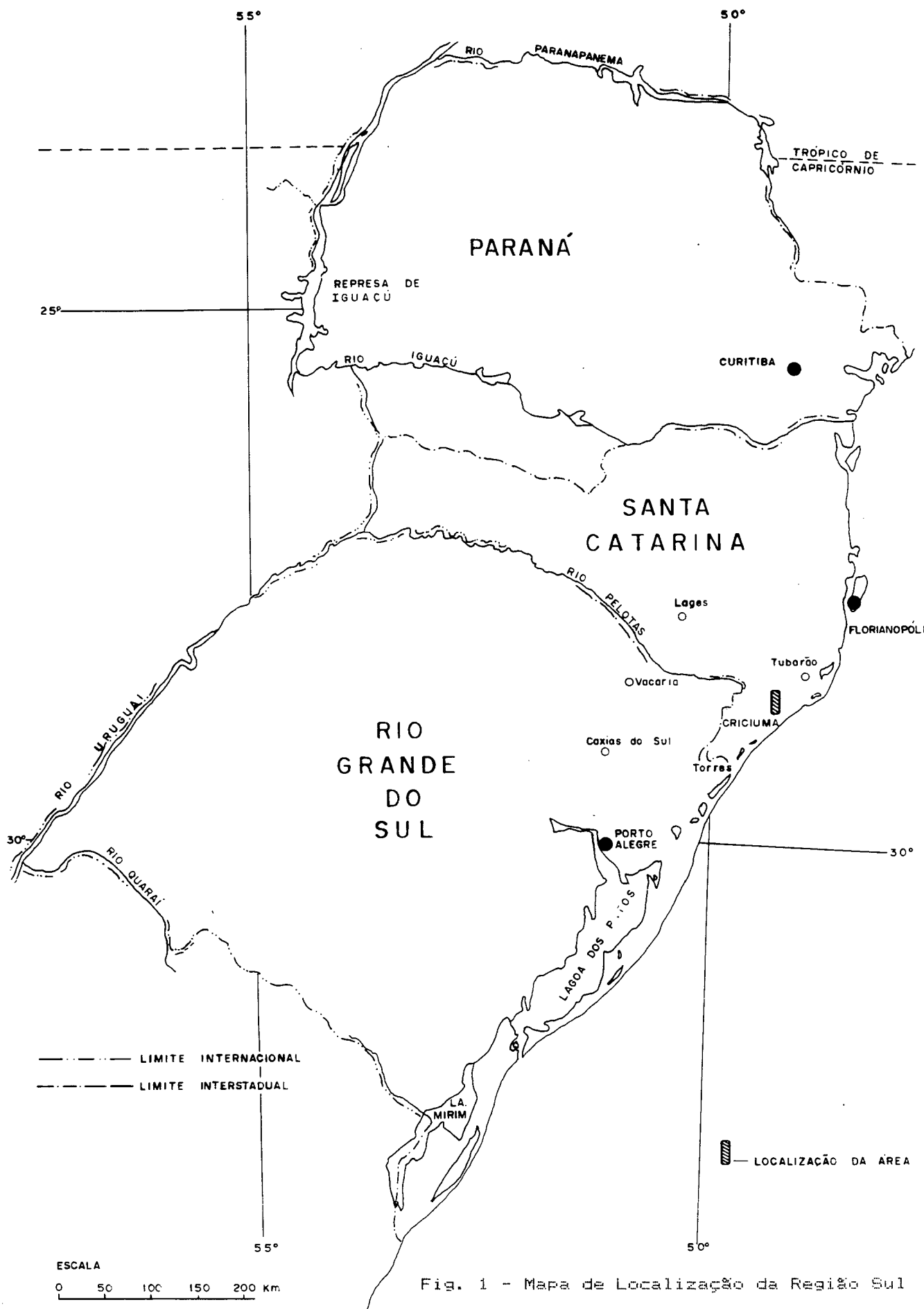


Fig. 1 - Mapa de Localização da Região Sul



passíveis de serem utilizadas no fabrico da cerâmica nobre - Camada Barro Branco - e, dada sua gênese, pode ainda conter reservas de minerais radioativos. Localiza-se na região sul do Estado de Santa Catarina entre os paralelos  $28^{\circ} 30'$  e  $28^{\circ} 40'$  de latitude e os meridianos  $49^{\circ} 30'$  e  $49^{\circ} 22'$  de longitude. Limita-se ao norte e sul pela sequência superior do Grupo Guatá, ao leste pela linha de contato com os sedimentos do Grupo Itararé e a oeste pelos contra-fortes da Serra Geral.

Na região carbonífera sul catarinense a espessura média do aquífero Rio Bonito é superior a 100m, conforme dados de furos de sondagem da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), sendo que destes, 80m são constituídos por sedimentos arenosos, cuja granulação varia de média a fina. Com base nas informações de 37 (trinta e sete) poços tubulares que exploram água da Formação Rio Bonito, a capacidade específica varia de 0,02 a  $5,11 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  e a transmissividade média é de  $52,20 \text{ m}^2/\text{dia}$ , conferindo a esta unidade um desempenho hidrodinâmico bom.

Sob o ponto de vista da manutenção na qualidade de vida, a água é, sem dúvida, de todos os recursos naturais desta unidade, o bem mais precioso e essencial ao desenvolvimento humano. Contudo, os mananciais superficiais na região encontram-se seriamente comprometidos e degradados, em consequência da intensiva lavra de carvão mineral realizada sem os cuidados necessários à minimização do impacto ambiental. De forma a dar somente uma idéia inicial do que ocorre, os mananciais hídricos

superficiais apresentam valores de acidez em torno de 3.000 mg de  $\text{CaCO}_3/\text{l}$  ; sulfatos até 2.000 mg/l; ferro até 100 mg/l e pH em torno de 2,0 a 6,0 (GOTHE,1982).

Em função do comportamento lito-estratigráfico, identifica-se na Formação Rio Bonito a ocorrência de duas formações aquíferas; Membro Siderópolis constituído por um pacote areno-siltico de espessura variável que contém camadas de carvão e o Membro Triunfo por sedimentos eminentemente arenoso.

Os resultados das análises químicas da água subterrânea contida no Membro Siderópolis demonstra que esta água possui mineralização alta e tipos químicos variados, consequência da lixiviação dos depósitos de rejeitos proveniente da mineração. Com relação à água subterrânea contida no Membro Triunfo verifica-se que esta apresenta mineralização mais baixa, em face ao processo de "diluição" a medida que a água aumenta de profundidade. Com relação à qualidade, a água subterrânea sob a influência da poluição proveniente da mineração do carvão não apresenta condições de uso para o consumo doméstico, industrial e irrigação. A água subterrânea do Membro Triunfo, não apresenta elementos que impedem o uso.

Para o estudo hidrogeológico foram adotados os mesmos critérios estabelecidos por Meinzer (1923), Kónonov e Klimentov (1978), os quais são: condicionamento geológico (litologia, relação estratigráfica e geologia estrutural); condicionamento

fisiográfico (clima, hidrografia e morfologia); identificação do principal aquífero, caracteres dimensionais; hidrodinâmica e definição de circulação; determinação e análise das potencialidades, com base na produção diária de poços e cálculos das reservas, finalidade e condições de explorabilidade, e função dos fatores quantitativos e qualitativos dos aquíferos. O levantamento hidroquímico foi realizado no segundo semestre de 1990, em diversas campanhas, adotando-se o método de análise física, físico-química e química, cujos resultados foram convertidos em meq./l e plotados em diagramas, gráficos e mapas hidroquímicos para avaliar a qualidade da água para os diversos usos.

## 2. - OBJETIVOS DO ESTUDO

O objetivo principal deste trabalho é proporcionar uma contribuição à lacuna existente no atual nível de conhecimento do aquífero subterrâneo que constitui o pacote sedimentar da Formação Rio Bonito.

Desta maneira são abordados dois grandes aspectos de fundamental importância, quais sejam:

- 1 - Aspectos Hidrogeológicos;
- 2 - Aspectos Hidroquímicos;

Os aspectos hidrogeológicos compreendem :

- permeabilidade ( K );
- porosidade ( m );
- transmissividade ( T );
- coeficiente de armazenamento ( S );
- determinação do fluxo subterrâneo;
- determinação do nível piezométrico;
- estabelecimento das curvas piezométricas.

Os aspectos hidroquímicos dizem respeito a:

- características químicas das águas subterrâneas e suas interrelações;

- estabelecimento de unidades hidroquímicas e suas correlações com os diferentes aquíferos (Membro Siderópolis e Triunfo), todos contidos na Formação Rio Bonito;

- estudo da evolução das características químicas das águas subterrâneas com a percolação no meio aquífero;

- determinação da qualidade da água para os seus diversos usos;

- determinação da variação das características hidroquímicas dos elementos de maior importância no tempo.

Um segundo objetivo é que este trabalho poderá vir a contribuir de forma efetiva a outros que se seguirão, no que diz respeito a legislação que vise proteger, de forma mais eficaz, o único recurso hídrico subterrâneo importante da Bacia Carbonífera Catarinense.





Fig. 3 - Mapa de Localização da Bacia do Paraná

Fonte: Rebouças 1976

### 3. - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

A Bacia do Paraná, localizada no centro leste da América do Sul, abrange uma área de 1.600.000 km<sup>2</sup>, distribuídos por quatro países. No território brasileiro atinge uma área de aproximadamente 1.000.000 km<sup>2</sup> e está compreendida entre os paralelos 16° e 32° de latitude S e os meridianos 47° e 56° de longitude W. O restante da área se encontra encravada no subsolo da Argentina (400.000 km<sup>2</sup>), Paraguai (100.000 km<sup>2</sup>) e Uruguai (100.000km<sup>2</sup>), conforme figura 3 .

A evolução geo-estrutural da Bacia do Paraná, aliada às condições geomorfológicas e climáticas favoráveis, determinaram a possibilidade de infiltração das águas superficiais às formações geológicas que, por suas propriedades (permeabilidade ou condutividade hidráulica, coeficiente de armazenamento, transmissividade e porosidade) permitem a extração de volumes consideráveis de águas subterrâneas em certas unidades litológicas.

O presente trabalho é dirigido à Formação Rio Bonito, por constituir-se o aquífero mais importante da Província Paleozóica Catarinense, já que 2/3 de sua espessura são constituídos de arenitos. Trata-se de um aquífero cujas características advêm de sua variação litológica, da posição estrutural e de sua situação geomorfológica. Além de sua importância hidrogeológica, é a unidade geológica que contém as camadas de carvões mais

importantes do sul do país.

Na área de estudo - Siderópolis e adjacências - a Formação Rio Bonito é constituída de arenitos, siltitos, folhelhos e carvões. Esta sequência sedimentar é recoberta por uma camada de solo, ou pela Formação Palermo, segmento estratigráfico que lhe é sobreposta. Nesta área situam-se também os depósitos de rejeitos provenientes da mineração do carvão, fato que aumenta a vulnerabilidade desta unidade hidrogeológica aos efeitos dos agentes poluentes.

Além dos aspectos mencionados, a região de ocorrência desta unidade geológica é ocupada por vários centros urbanos importantes da região sul, pequenas comunidades, indústrias de pequeno, médio e grande porte e propriedades rurais que necessitam de águas potáveis de boa qualidade.

Neste contexto, a Formação Rio Bonito foi escolhida como a unidade básica para o desenvolvimento do presente estudo, envolvendo uma área de 216,45km<sup>2</sup>, e distribuindo-se de norte a sul da área de trabalho.

### 3.1. - Aspectos Sócio-Econômicos

#### 3.1.1. - População

A área de estudo é integrada pelos municípios de Criciúma,

Siderópolis e Nova Veneza, os quais fazem parte da micro-região do Sul do Estado de Santa Catarina (AMREC), constituída em 20.06.70. Nesta região, o contingente populacioñal atinge cerca de 5,52%, da população do Estado. A densidade demográfica é de 59,98 habitantes por km<sup>2</sup>, segundo dados obtidos junto à Secretaria de Estado de Coordenação Geral e Planejamento (1987). A tabela 1 mostra a distribuição da população nos municípios.

Tabela - 1 - Distribuição da População dos Municípios de Criciúma, Siderópolis e Nova Veneza.

MUNICÍPIO	POPULAÇÃO		DENSID. POP. (hab./km <sup>2</sup> )	TOTAL (hab.)
	URBANA	RURAL		
	(hab.)	(hab.)		
CRICIÚMA	96.332	14.272	279,30	110.604
SIDERÓPOLIS	6.542	5.854	30,61	12.936
NOVA VENEZA	3.619	5.546	27,60	9.165

Fonte-Secretaria de Estado de Coordenação Geral e Planejamento - 1987.

### 3.1.2. - Agropecuária

As propriedades rurais são caracterizadas como minifúndios, cuja extensão não ultrapassa os 25 ha. A qualidade do solo é prejudicada pela sua limitada fertilidade, aliada a uma acentuada acidez, exigindo dos proprietários uma maior aplicação de corretivos de solo por hectare plantado. Na produção agrícola destaca-se o fumo, arroz, milho, feijão e banana. A atividade pastoril não é muito desenvolvida, predominando o gado misto, representado pelo gado de corte.

A extensão territorial dos três municípios envolvidos no estudo é de 1053 Km<sup>2</sup>. Cerca de 30,48 km<sup>2</sup> desta área são ocupados por lavouras permanentes e 211,03 km<sup>2</sup> por lavouras temporárias, correspondendo a 22,9% do território. No que se refere a produção agropecuária, destaca-se a presença de 31.979 bovinos, 34.050 suínos e 403.727 aves, segundo a Secretaria de Estado de Coordenação Geral e Planejamento (1987).

### 3.1.3. - Indústria

A atividade econômica de maior importância na área se estudo é a lavra e beneficiamento de carvão mineral, sendo que no ano de 1987 foram extraídas 5.075.661 ( cinco milhões e setenta cinco mil e seiscentos sessenta um) de toneladas de ROM (Run of Mine), segundo o Informativo Anual da Indústria Carbonífera do Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM-

SC) e em 1990 a produção estadual decaiu ao nível de 7 (sete) milhões de toneladas (informação verbal).

O setor carbonífero é constituído por empresas exclusivamente de capital nacional. As quatro maiores empresas mineradoras produzem cerca de 80 % do carvão catarinense. Doze empresas absorvem diretamente 13.000 empregos diretos e mais de 60.000 empregos indiretos.

Além desta, a indústria metalúrgica merece destaque, principalmente nos municípios de Criciúma e Nova Veneza.

#### 3.1.4. - Sistema Viário

Todos os municípios são cortados por rodovias municipais trafegáveis em qualquer época do ano, sendo que as sedes municipais são ligadas por estradas estaduais asfaltadas. Os municípios possuem ligação direta ou indireta com a principal via de escoamento rodoviário do sul do país, a BR-101.

O transporte do carvão é feito, exclusivamente, pela Estrada de Ferro Dona Tereza Cristina, que conduz o produto da área de exploração ao lavador de Capivari, no Município de Tubarão. Através do mesmo sistema de transporte, o carvão metalúrgico obtido no lavador é enviado ao Porto de Imbituba, destinando-se às empresas siderúrgicas do centro do país.

A região é também ligada aos principais centros do país por via aérea, que se constitui numa alternativa melhor para a efetivação de transações comerciais que necessitam de um menor tempo no deslocamento dos passageiros.

### 3.1.5. - Meio Ambiente

A mineração do carvão no Estado de Santa Catarina teve seu início em 1885, quando era efetuada manualmente. A partir da década de 1970, com o desencadeamento da crise energética mundial, aliada ao modelo do desenvolvimento do país, a produção do carvão foi incrementada, com a implantação de minas de grande porte parcialmente ou totalmente mecanizadas.

As minas mecanizadas acarretaram dois problemas fundamentais na mineração de carvão:

a) incremento na produção de rejeitos, devido a necessidade de aberturas de maiores espaços para a mineração;

b) o aumento da incidência de doenças profissionais do mineiro, principalmente a pneumoconiose, derivada do aumento de partículas em suspensão.

Os rejeitos foram depositados sem qualquer critério técnico e sem recobrimento, próximos das usinas de beneficiamento, ou em baixos topográficos, em zonas alagadiças e

ao longo de rodovias. São constituídos por arenitos, siltitos, folhelhos, carvões por perda no processo de beneficiamento e minerais sulfetados, principalmente a pirita.

O efeito da erosão e lixiviação das águas superficiais sobre as pilhas de rejeitos, bem como a ação das águas residuárias do beneficiamento, resultam na acidez das águas, proveniente da oxidação da pirita, ocasionando também um incremento de material particulado em suspensão e metais pesados dissolvidos. Como consequência deste processo, houve um aumento da degradação ambiental da região carbonífera do sul do Estado de Santa Catarina, a ponto de ser considerada, por Decreto Presidencial, como 14ª Área Crítica Nacional para efeitos de controle da poluição e da qualidade ambiental.

A mineração do carvão mineral comprometeu a quase totalidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos e ainda diminuiu consideravelmente a área para o uso e ocupação do solo.

### 3.2. - Aspectos Fisiográficos

O relevo da área de estudo é caracterizado por um conjunto de rochas Paleozóicas, interrompendo-se a oeste em virtude do cobrimento por rochas da Formação Serra Geral.

O clima é Mesotérmico do tipo temperado; a máxima



intensidade pluviométrica ocorre no verão, enquanto a precipitação mínima ocorre no inverno. As temperaturas mais elevadas ocorrem nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, enquanto as temperaturas mais baixas ocorrem nos meses de junho e julho.

Para a realização deste trabalho foram considerados dados de precipitação, medidas de vazões do rio Mãe Luzia e temperaturas coletadas pelas Estações Meteorológicas de Forquilha e Urussanga. O 29 Distrito do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) e a Empresa Catarinense de Pesquisa Agropecuária S.A. (EMPASCO), com sede nas cidades de Curitiba e Florianópolis, são os órgãos públicos que detêm estas informações. Os dados relativos a temperatura, pluviometria e umidade relativa do ar foram obtidos junto à estação pluviométrica de Urussanga e referem-se ao período de 1927 a 1990.

O clima da região carbonífera é caracterizado pela ação de massas de ar intertropicais quentes e massas polares frias, sendo as últimas responsáveis pelo caráter mesotérmico do clima, de efeito acentuado, porém atuando em ondas esparsas, que são dominadas parcialmente pelas massas intertropicais - "Tropical Atlântica" de ação complementar. As oscilações da frente polar que atingem o território catarinense durante todo o ano, imprimem sobre o seu clima dois aspectos característicos, a instabilidade do tempo e a elevada pluviosidade no decorrer do

ano.

Segundo o sistema de classificação climática de Koeppen, a região carbonífera se enquadra no clima do grupo C - mesotérmico, uma vez que as temperaturas médias do mês mais frio estão abaixo de  $18^{\circ}\text{C}$  e acima de  $3^{\circ}\text{C}$  e neste grupo, ao tipo (f) sem estação seca distinta, pois não há índices pluviométricos mensais inferiores a 60 mm. Quanto à altitude da região, o clima se distingue por sub-tipo de verão quente (a) com temperaturas médias nos meses mais quentes de  $28^{\circ}\text{C}$ .

### 3.2.1. - Pluviometria

A rede pluviométrica atende a recomendação da Organização Meteorológica Mundial O.M.M., que estabelece a instalação de um pluviômetro a cada 250 km<sup>2</sup>, em terreno plano.

As Estações Pluviométricas de Forquilha e de Urussanga, situadas a sudoeste e a leste da área objeto de estudo, preenchem os quesitos necessários às observações hidrometeorológicas utilizadas.

Dos dados obtidos junto a Estação Meteorológica Forquilha, (figura 4) verifica-se que o índice pluviométrico anual médio (período 1946 - 1990) é de 1452 mm, sendo o valor mínimo observado de 1234 mm e máximo, de 1670 mm. Na Estação Meteorológica Urussanga (figura 5) observa-se o índice

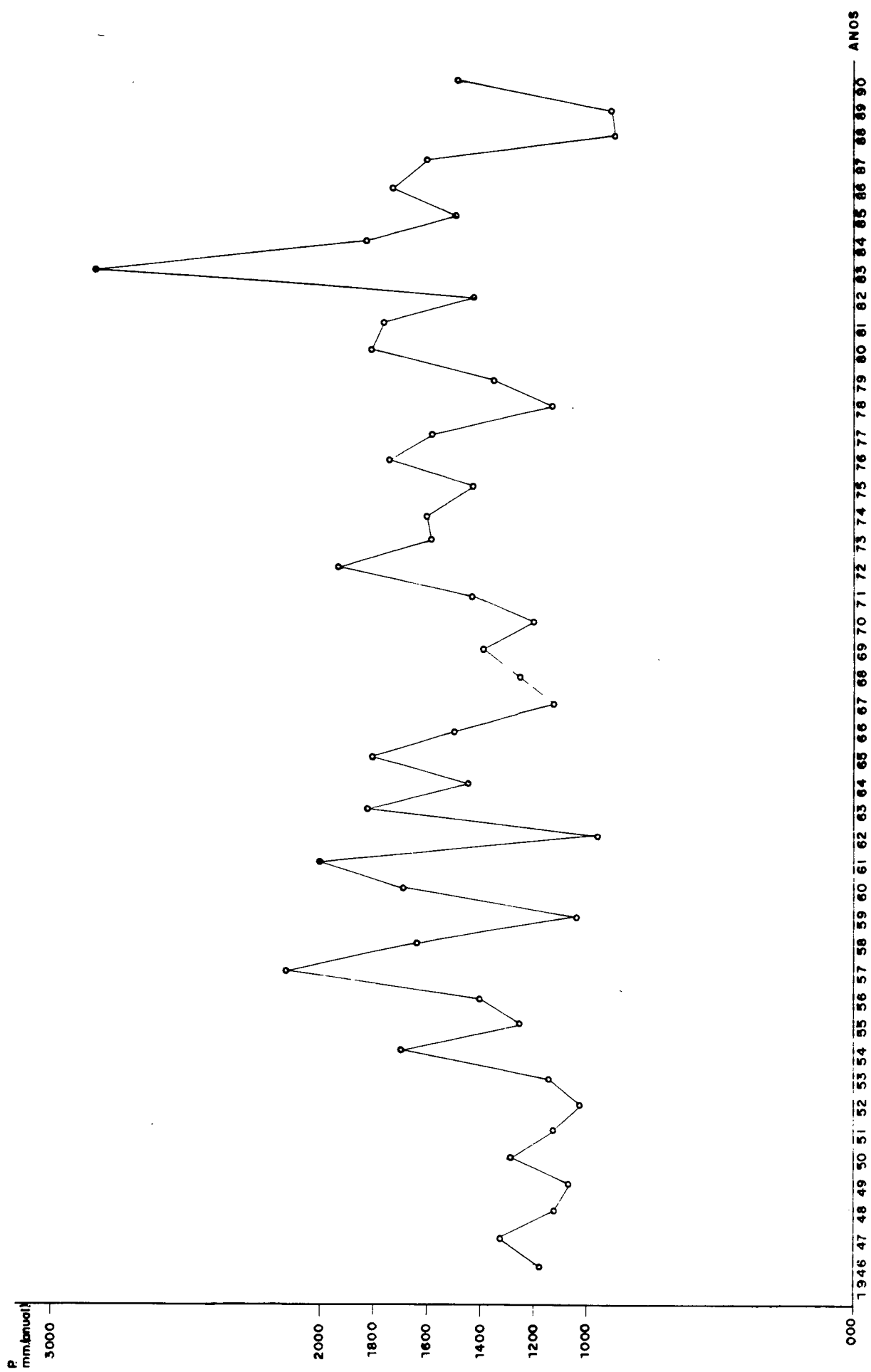


Fig. 4 - Precipitação Média Anual (mm) - Estação Meteorológica de Forquilha.  
Anos 1946-1990

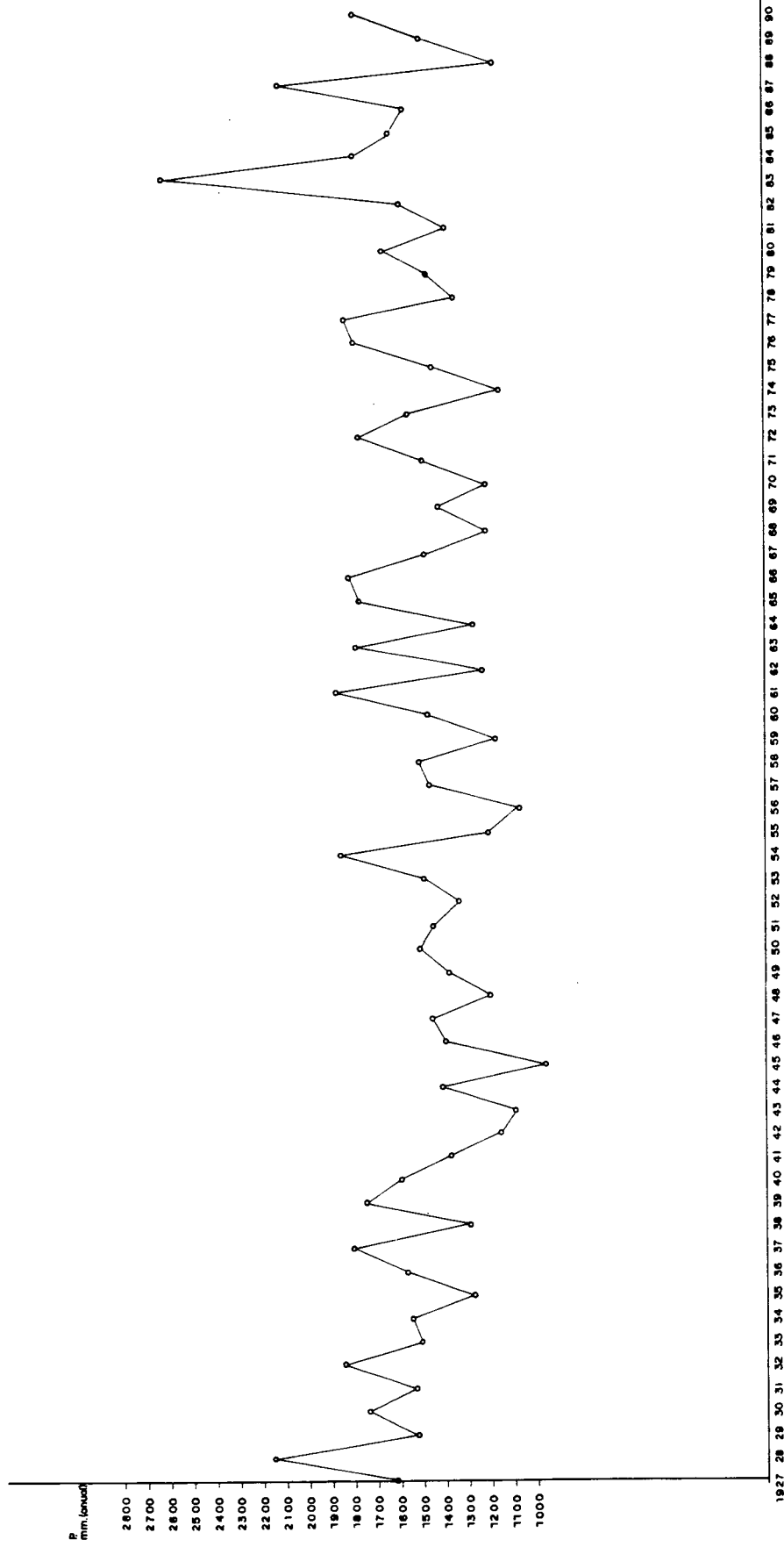


Fig. 5 - Precipitação Média Anual (mm) - Estação Meteorológica de Urussanga. Anos 1927-1990

pluviométrico anual médio de 1536 mm.

O regime pluviométrico da região pode ser definido da seguinte maneira: os meses de setembro a março representam as maiores médias mensais, e os meses de abril a agosto representam as médias mensais menores.

### 3.2.2. - Temperatura

As informações referentes à temperatura e umidade relativa do ar são provenientes da Estação Pluviométrica de Urussanga, cuja a série histórica corresponde aos anos 1927 - 1990.

As temperaturas médias mais elevadas foram registradas para os meses de janeiro ( $23,4^{\circ}\text{C}$ ) e fevereiro ( $23,2^{\circ}\text{C}$ ) e a média mais baixa no mês de julho ( $14,1^{\circ}\text{C}$ ), conforme se vê na figura nº 6.

Os meses de temperatura mais elevada são dezembro, janeiro e fevereiro, o meses mais frios são junho, julho e agosto. A temperatura média anual é de  $19,1^{\circ}\text{C}$  e a diferença entre a temperatura de verão e a de inverno está em torno de  $10^{\circ}\text{C}$ .

### 3.2.3. - Umidade Relativa

Na figura nº 6 se verifica que ocorre uniformidade de

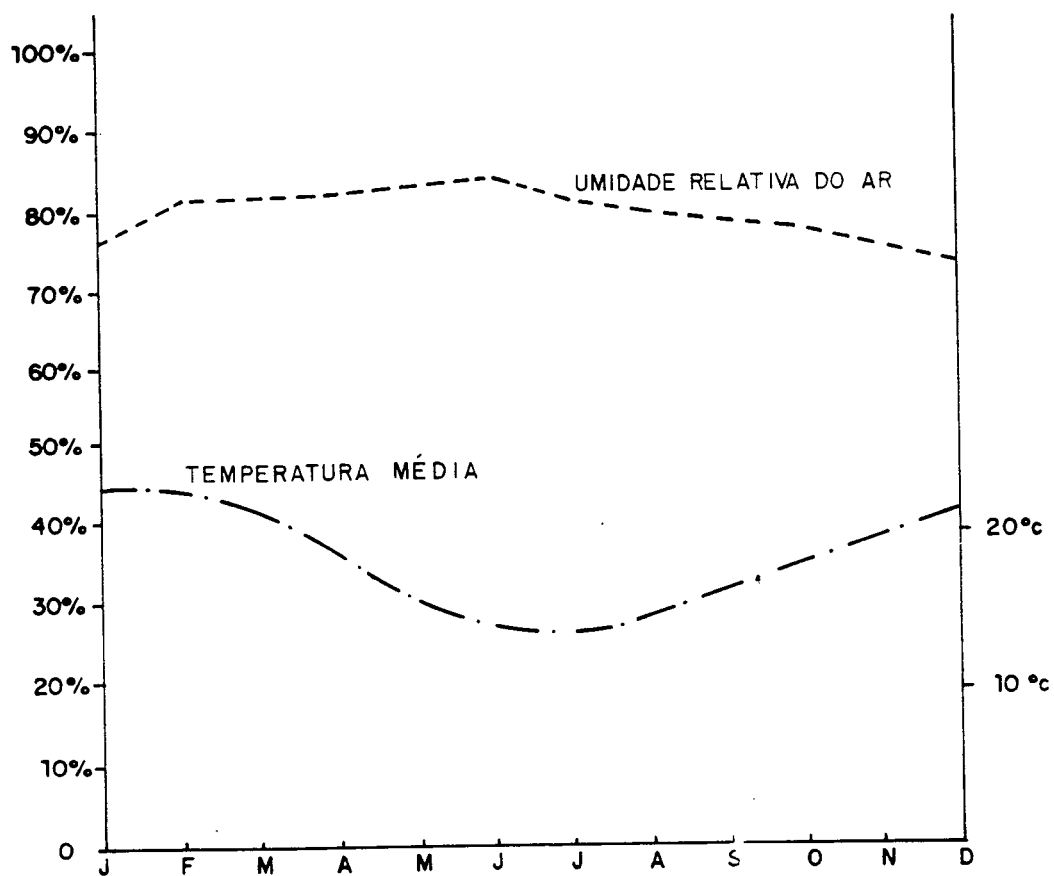


Fig. 6 - Média Mensal da Temperatura (°C) e Umidade Relativa do Ar (%) - Estação Meteorológica de Urussanga. Anos 1927-1990

distribuição da umidade relativa do ar durante os meses considerados. O valor médio mínimo obtido foi de 75,9 % para o mês de dezembro, e o valor máximo foi de 83,6 %, para o mês de junho.

#### 3.2.4. - Escoamento Superficial

Para a execução do estudo do escoamento das águas superficiais, foram utilizados os dados obtidos na Estação Pluviométrica de Forquilha, estação esta que também mede as descargas do rio Mãe Luzia, cuja média obtida no período de 1943-1966 foi de 14,23 m<sup>3</sup>/s (figura 7).

O eixo do movimento e principal canal de drenagem das águas superficiais e subterrâneas na área estudada são os rios Mãe Luzia e Sangão.

A bacia do Rio Mãe Luzia drena uma área de 523 km<sup>2</sup>, sendo 216,45 km<sup>2</sup>, na região objeto de estudo. Nesta área desenvolveram-se importantes núcleos habitacionais representados pelas localidades de Treviso, Siderópolis, Nova Veneza e Criciúma.

O rio Mãe Luzia recebe dentro da área pesquisada, os seguintes afluentes:

Margem direita :rios Pio, Manim, Jordão, e Dandolo ou

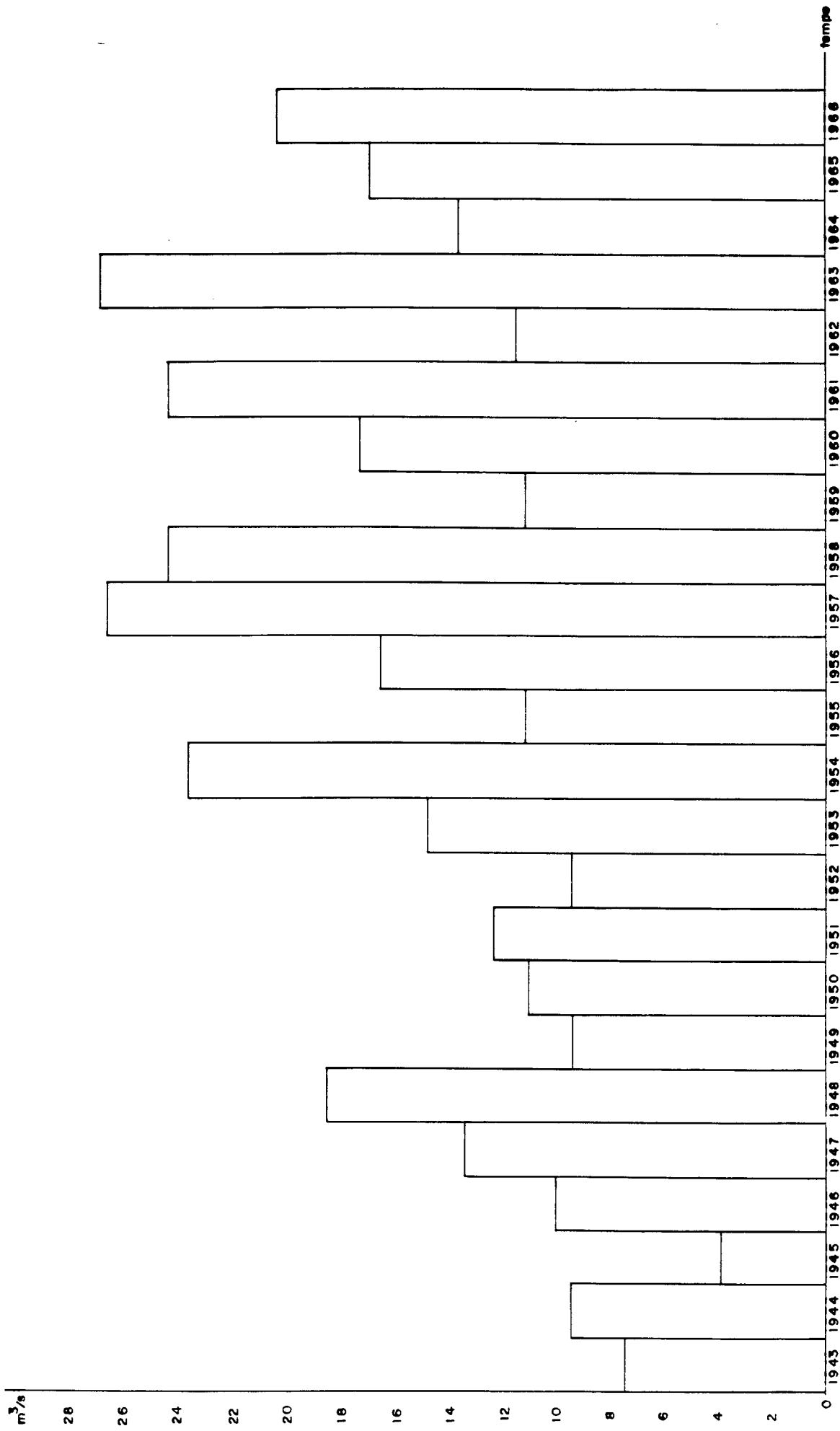


Fig. 7 - Descarga Média Anual do Rio Mãe Luzia  
Estação Forquilha. Anos 1943-1966.  
Fonte: D.N.A.A.E.



Margem esquerda : rios Dória, Ferreira, Morozini e Fiorita.

O rio Mãe Luzia nasce fora da área de estudo, iniciando o seu percurso sobre esta, próximo ao limite superior, assumindo uma orientação norte-sul, passando a seguir a sudeste, posteriormente para sudoeste e retornando a uma orientação aproximadamente norte-sul na metade final da área.

Na parte central da área de estudo se observa parte da bacia hidrográfica do rio Mãe Luzia e do rio Sangão (figura 8).

O rio Sangão na área pesquisada, não possui nenhum afluente de destaque e as descargas que recebe em seu percurso são de pequenos riachos que não possuem denominação.

O rio Sangão nasce na área de pesquisa, iniciando o percurso com uma orientação nordeste, posteriormente assumindo um rumo grosseiramente norte-sul até o limite sul da área. Nestas duas sub-bacias foram implantadas importantes atividades agro-pastoris , industriais e a mineração de carvão e argila.

### 3.2.5. - Geomorfologia

A área pesquisada encontra-se encravada no Domínio



(ROSA e HERRMANN 1986).

Na área, as cotas topográficas variam entre 50 a 498 m. Na porção norte da poligonal os relevos são mais elevados, com vales encaixados e as vertentes mais íngremes. No flanco sul os vales são mais abertos, o relevo mais suave e as formas são mais côncavo-convexas.

Na porção central da área, a Formação Irati foi intrusionada por rochas da Formação Serra Geral, sob a forma de soleiras, ocasionando uma feição geomorfológica de caráter local, denominada de "Montanhão".

Nas áreas onde afloram as rochas da Formação Rio Bonito, os vales são mais largos e as encostas dos morros são mais suaves, o mesmo não ocorrendo com as rochas dos Grupos Itararé e Passa Dois, que formam degraus mais íngremes. Esta variação no comportamento erosional está relacionada a um processo complexo denominado de dissecação erosional.

#### 3.2.6. - Vegetação

As formações vegetais primárias da região carbonífera são classificadas como Mata Tropical Atlântica, embora o intenso desenvolvimento agropecuário dos últimos 50 anos tenha imprimido profundas modificações no aspecto original da vegetação. De acordo com o Departamento Estadual de Geografia e Cartografia, a

área de estudo se enquadra como transição entre os grupamentos Ib e Ic da Mata Tropical Atlântica, transcritos a seguir:

"Ib - Matinha nebulosa dos Aparados da Serra Geral, cujos elementos característicos são casca d'anta, canelinha, jaboticaba do campo e cipó-arama.

Ic - Zonas caracterizadas por matas situadas nas diversas ramificações da Serra Geral, apresentando árvores cujos troncos são geralmente tortuosos e relativamente baixos. A composição é bastante complexa, devido a grande variedade dos solos e do micro-clima, predominando canela-preta, aguai ou caixeta amarela, guamirim-ferro e a biscoíba".

### 3.2.7. - Geologia Local

A geologia local da área de interesse foi baseado no mapa geológico elaborado em 1986 pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), para execução do Projeto Borda Leste, escala 1:50.000, também foram utilizados dados geológicos de furos de sondagens, executados na região para pesquisa de carvão mineral pela CPRM e por empresas mineradoras de carvão. Estes trabalhos permitiram estabelecer as sequências estratigráficas, variações granulométricas, extensão e espessura do pacote sedimentar (figura 9, anexo 3) .

Os dados obtidos a partir dos trabalhos de pesquisa são

expostos nos parágrafos seguintes.

#### 3.2.7.1. - Formação Rio do Sul

As litologias desta formação ocorrem na parte superior do Grupo Itararé. Sua ocorrência é restrita a dois locais:

1º - A leste da cidade de Siderópolis, esta unidade inicia-se com sedimentos grosseiros, cujo tamanho varia de 0,1 a 1,5 cm, constituídos principalmente por feldspatos e quartzo angulares a subangulares, envoltos por uma matriz siltico - arenosa de coloração cinza esverdeada;

2º - no centro leste da área de estudo, esta formação é constituída por folhelhos e argilitos de coloração amarelada em virtude do processo de intemperismo. Esta litologia assenta-se diretamente sobre o embasamento.

#### 3.2.7.2. - Formação Rio Bonito

Compreende um pacote de rochas sedimentares, constituído por uma seção arenosa basal (Membro Triunfo), uma seção média siltico-argilosa (Membro Paraguaçu) e uma seção superior areno - argilosa e contém os principais depósitos de carvões (Membro Siderópolis). Esta unidade litológica ocupa uma área aflorante de 84,5 Km<sup>2</sup>.

O Membro Triunfo tem espessura variável, entre > 14,00 e 54,50m. Em direção a NE e NW da área, verifica-se um adelgaçamento desta unidade e a maior espessura encontra-se próximo a cidade de Siderópolis (figura 10).

CAYE et alli (1975), na região carbonífera sul catarinense, identificaram espessuras de 20 a 60m para o Membro Triunfo.

Predominam litologias arenosas, de granulometria média a fina, ocorrendo subordinadamente, siltitos e arenitos grosseiros. Os arenitos são geralmente cinza-esbranquiçados, por vezes esbranquiçados. Ocorrem camadas cuja granulometria varia de muito fina até muito grossa. Os arenitos grosseiros são quartzo-feldspáticos a arcoseanos, com feldspato alterado e grãos sub-angulares mal classificados. Os arenitos médios e finos, mais quartzosos, formam camadas maciças ou com laminações paralelas e cruzadas evidenciadas por lâminas de siltito preto muito micáceo. Vários níveis centimétricos apresentam numerosas galhas de argila. O cimento carbonático é pouco abundante.

De acordo com BORTOLUZZI et alli (1978), o Membro Triunfo é constituído predominantemente por arenitos subarcoseanos e arcóseos, com percentual de 84% do total de seus sedimentos. Folhelhos e siltitos constituem os restantes 16% desta unidade, sendo que os siltitos correspondem a aproximadamente 15,5% .

A espessura do Membro Paraguaçu na área de interesse, varia de >20,70m (furo de sonda PB-33) a 54,00m (PB-16) (figura 9, anexo 3). Nesta unidade predominam siltitos e siltitos arenosos, com alguns níveis de arenito fino. Os siltitos apresentam coloração cinza a cinza escuro até preto, sendo ora maciços, ora com laminações paralelas ou subparalelas, decorrência de lâminas de arenitos finos. Os arenitos são quartzo-feldspáticos de granulometria fina a muito fina. Secundariamente ocorrem argilas, folhelhos e arenitos finos e camadas de calcário. Camadas de carvão ocorrem no topo e na base.

Segundo Bortoluzzi et alli (1978), o Membro Paraguaçu é limitado inferiormente pela camada "D" ou na ausência desta, por siltito esverdeado micáceo, interlamorado com arenito muito fino, esbranquiçado. A parte superior é marcada pela presença de siltito esverdeado a cinza, eventualmente preto, carbonoso, micáceo, normalmente maciço, mais raramente com laminação paralela. Duas camadas de carvão ocorrem na base do membro, a camada "D" e a camada "C", separada da primeira por cerca de 6,0m de sedimentos.

O Membro Siderópolis constitui a parte superior da Formação Rio Bonito. É limitado na sua porção inferior pela camada de carvão Bonito ou na falta desta, pelos seus equivalentes estratigráficos e, no limite superior pela base da Formação Palermo, cujo contato é gradacional. Este membro

caracteriza-se por apresentar maior espessura dentre os outros dois membros que constituem esta unidade (figura 9, anexo 3).

A leste da área de estudo ocorrem as menores espessuras, em torno de 50,00m, e em direção a oeste, espessuras de 81,50. Predominam os arenitos, ocorrendo também camadas silticas e carbonosas mas de grande continuidade lateral. Entre o contato da Formação Palermo - Formação Rio Bonito e o nível estratigráfico da camada de carvão Barro Branco ocorre uma sequência de sedimentos de granulometria crescente de siltito e/ou lamito de coloração preta, para arenito quartzoso fino a médio. Localmente ocorrem arenitos grosseiros. Este pacote é denominado de Arenito Bonito Superior.

Do nível estratigráfico da camada Barro Branco até a porção média desta unidade ocorrem arenitos quartzíticos, geralmente finos, micáceos (Arenito Barro Branco Inferior). Podem ocorrer abundantes lâminas de siltitos cinza-escuro, formando laminação paralela. Ocorrem frequentemente camadas de 0,30m de carvão, geralmente correlacionadas ao nível estratigráfico da camada de carvão Irapuá.

Na metade inferior intercalam-se camadas silticas e arenosas em sequências variáveis. Os siltitos são micáceos, têm coloração acizentado, geralmente com laminação paralela. Os arenitos variam de finos (quartzíticos) a grosseiros (quartzo-feldspáticos a arcoseanos). Podem ocorrer outras camadas de



carvões ("A", "B" e Ponte Alta) e folhelhos carbonosos, geralmente pouco espessos, com continuidade lateral considerável, embora não ocorra em toda extensão da área pesquisada.

Na base desta unidade ocorre o Arenito Bonito Superior, uma camada de alguns metros de arenito quartzoso, esbranquiçado, maciço e com estratificações cruzadas. Ocorrem níveis de siltitos e/ou lamito preto, carbonoso, calcífero. Frequentemente, ocorrem camadas de carvões denominadas de Bonito Superior e Bonito Inferior.

Segundo Bortoluzzi et alli (1978), a sequência sedimentar deste membro é predominantemente arenosa, com um percentual de 75%, siltitos correspondendo a 15,7%, folhelhos a 4,3%, camadas de calcários a 0,58% e camadas de carvão a aproximadamente 1,5%. As intrusões de diabásio ocorrem com frequência.

#### 3.2.7.2.1. - Comportamento Estrutural da Formação Rio Bonito

O comportamento estrutural da Formação Rio Bonito pode ser visualizado através do mapa de contorno estrutural da capa desta formação (figura 11, anexo 3) .

A Formação Rio Bonito está estruturada em um grande monoclinal, com direção regional N70°W, apresentando suave

mergulho regional menor do que 1° para sudoeste e intensamente recortado por falhas.

As estruturas do tipo sinclinal e anticlinal são atribuídas aos rejeitos de acomodação de blocos anteriormente falhados.

As numerosas falhas que afetaram a área produziram acentuadas descontinuidades litológicas na Formação Rio Bonito. O conhecimento destas falhas é de grande importância, quando das locações dos poços profundos para exploração das águas subterrâneas.

Ao norte a formação ocorre com cotas positivas em relação ao nível do mar, atingindo valores de até 230m. A SW as cotas são negativas, com valores de até -40m. A cota zero ocorre aproximadamente na linha que liga o Distrito de Metropolitana a Rio Jordão.

#### 3.2.7.3. - Formação Palermo

A Formação Palermo constitui a parte superior do Grupo Guatá. O Palermo aflora circundando o sill de diabásio denominado de Montanhão, e também aflora entre as localidades de Palermo e Criciúma e nos lados N, E, S do sill de Nova Veneza.

O contato com a Formação Rio Bonito caracteriza-se por uma

zona de transição, o mesmo acontecendo na passagem do Palermo para a Formação Irati.

A espessura da Formação Palermo, referida na bibliografia, é da ordem de 100m. WILLING et alli (1974); MONACO et alli (1974).

Nas informações obtidas dos furos de sondagens efetuados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), no Projeto Pré - Barro Branco a espessura máxima da Formação Palermo foi de 84,80m (PB-34), e a mínima de 4m (PB-37).

Sob o ponto de vista litológico, a Formação Palermo é constituída por siltitos arenosos, siltitos e folhelhos com intercalações delgadas e interlaminações de arenitos muito finos.

Em superfície apresenta cores amarelo-esverdeadas, em razão do processo de alteração. Através de dados de sondagens, as cores são cinza-escuro, médio e claro, mais raramente sedimentos cinza-esverdeados. O carbonato de cálcio aparece em pequena quantidade como cimentante dos grãos subarredondados e subangulares. Ocorrem fraturas verticais preenchidas ou não por carbonatos e tubos de vermes.

Segundo Bortoluzzi et alli (1978), o freqüente interacamadamento de sedimentos finos (silticos) arenosos finos,

as estratificações e laminações lenticulares ("flaser" e outras), irregulares e plano-paralelas, além das estruturas de bioturbação, são características de ambientes sub-aquosos.

A sedimentação da Formação Palermo deve ter ocorrido em um ambiente de águas rasas em condições de baixa energia, sob a influência de fraca a moderada ação das ondas, eventualmente afetada por pequenos canais.

#### 3.2.7.4. - Formação Irati

A Formação Irati apresenta sedimentos de idade Permiana depositados sobre a Formação Palermo, sendo o contato gradacional.

Esta unidade aflora nos contatos dos sills de diabásios de Nova Veneza é denominada de Morro da Miséria, e no Município de Siderópolis, é denominada de Montanhão. A NW da área a Formação Irati está em contato com a Formação Palermo e Rio Bonito através de falhas de direção NE.

A Formação Irati consiste de folhelhos e argilitos de cor amarelada em virtude do processo de alteração. Todas as camadas contém pirita ( $\text{FeS}_2$ ).

#### 3.2.7.5. - Formação Serra Alta

A Formação Serra Alta constitui-se de argilitos, folhelhos e siltitos de coloração cinza-escuro, com fratura conchoidal e laminação paralela.

Sua área de ocorrência é restrita e ocorrem pequenos afloramentos no topo do Morro da Miséria e do Montanhão.

#### 3.2.7.6. - Formação Serra Geral

Esta formação tem ocorrência em diversos locais na área de estudo. São rochas basálticas, intrusivas, textura afanítica de coloração cinza escura a negra.

Os afloramentos que ocorrem na área são provenientes de intrusões de rochas básicas, na forma de sills, que recebem a denominação de diabásio. Este tipo de rocha cristaliza-se a meio caminho, entre a fonte de origem e a superfície, entremeada às formações mais velhas.

Os maiores sills são os de Boa Vista (Montanhão) e de Nova Veneza (Morro da Miséria) e ambos foram intrusionados no contato Palermo - Irati.

#### 3.2.7.7. - Sedimentos Quaternários

Este tipo de litologia ocorre na porção SW, próximo a

cidade de Nova Veneza. é constituída por sedimentos detríticos areno-argilosos com presença de seixos de basalto. A área de afloramento é restrita.

### 3.2.8. - Tectônica

O arcabouço tectônico da Bacia do Paraná é o resultado final de falhamentos verticais (movimentos epirogenéticos). Pelo fato dos esforços terem sido essencialmente distensionais, não houve produção de estruturas do tipo dobramentos intensos, falhas transcorrentes ou outras feições características. As pequenas dobras ou falhas inversas são de caráter local, cujas origens estão relacionadas a acomodações de blocos ou pelas intrusões de corpos de composição basáltica.

As feições tectônicas mais importantes foram produzidas por movimentos epirogenéticos, causando subsidência a numerosos blocos, através de falhas de gravidade.

Na área de estudo as falhas ocorrem preferencialmente em três direções que se cruzam, formando estruturas do tipo mosaico ou muralha e fossa.

As principais direções dos falhamentos são: N-S, NE-SW, NW - SE.

A principal estrutura tectônica é a denominada Falha Mãe

Luzia, cuja orientação inicial é N-S, infletindo posteriormente para NE-SW. Segundo FABRÍCIO et alii (1975), esta falha mede aproximadamente 33 km de comprimento, sendo que o rejeito atinge a 100m.

Num determinado trecho há coincidência entre o Rio Mãe Luzia e a orientação da falha, constituindo-se num controle estrutural. Esta estrutura afeta as unidades sedimentares do Permiano Médio, colocando lado a lado a Formação Rio Bonito com a Formação Palermo, e a Formação Rio Bonito com a Formação Irati. Existem outras falhas de menor extensão e com rejeitos consideráveis, originando estruturas do tipo fossa.

As falhas NE-SW ocorrem em número significativo, contudo apresentam pouca extensão. Não foi possível definir os respectivos rejeitos.

As estruturas de orientação NW-SE ocorrem em menor número e também apresentam menores comprimentos.

## CAPÍTULO II

### SINOPSE DO CONHECIMENTO DA FORMAÇÃO RIO BONITO



## 1. - Considerações Gerais

A pesquisa e a prospecção geológica foram amplamente implementadas com o objetivo de se conhecer as condições de ocorrência do carvão mineral no Estado de Santa Catarina, sendo estes trabalhos executados por órgãos governamentais (DNPM) e empresas de capital misto (CPRM) e empresas privadas que pesquisam e exploram carvão mineral.

Deve-se destacar igualmente a atuação da PETROBRAS e da Comissão de Energia Nuclear (CNEN), que muito contribuíram para a pesquisa do carvão mineral no país, embora seus objetivos fossem diretamente dirigidos à pesquisa de petróleo e, possivelmente urânio.

As pesquisas de águas subterrâneas na Bacia do Paraná foram desenvolvidas a partir dos anos 60 (sessenta), em razão da degradação da qualidade dos mananciais superficiais afetados pela má utilização do solo e a carência de água de boa qualidade para atender as comunidades urbanas e rurais.

O Estado de São Paulo é a unidade da Federação que mais investiu na prospecção de águas subterrâneas, principalmente nas unidades litoestratigráficas do Grupo São Bento, pelo fato destas formações apresentarem as melhores condições de armazenamento e transmissividade das águas.

Em Santa Catarina praticamente não foram desenvolvidos estudos específicos no sentido de determinar as características hidrodinâmicas e hidroquímicas das unidades litoestratigráficas que compõem o seu substrato. No escopo do presente estudo bibliográfico são muito escassos os trabalhos que tratam sobre o assunto na região.

## 2. - Geologia

Na região sul do Estado de Santa Catarina a Bacia do Paraná encerra as maiores reservas de carvão metalúrgico do país. Nesta região, recebe a denominação de Bacia Carbonífera Sul Catarinense (figura 12). Situa-se no flanco leste do Estado de Santa Catarina, estendendo-se desde o sul do Município de Araranguá adiante da cidade de Lauro Müller, numa faixa de direção Norte-Sul com aproximadamente 100 km de comprimento e uma largura média de 20 km.

Esta área foi alvo de intensas pesquisas geológicas levadas a efeito pelo D.N.P.M., desde 1970. Vários projetos, envolvendo milhares de metros de perfurações, conduziram a um grande conhecimento desta faixa da Bacia do Paraná, a qual sem sombra de dúvida, é uma das mais estudadas do território nacional.

O interesse sobre a geologia da região sul remonta ao início do século, quando no ano de 1904 o Governo Federal

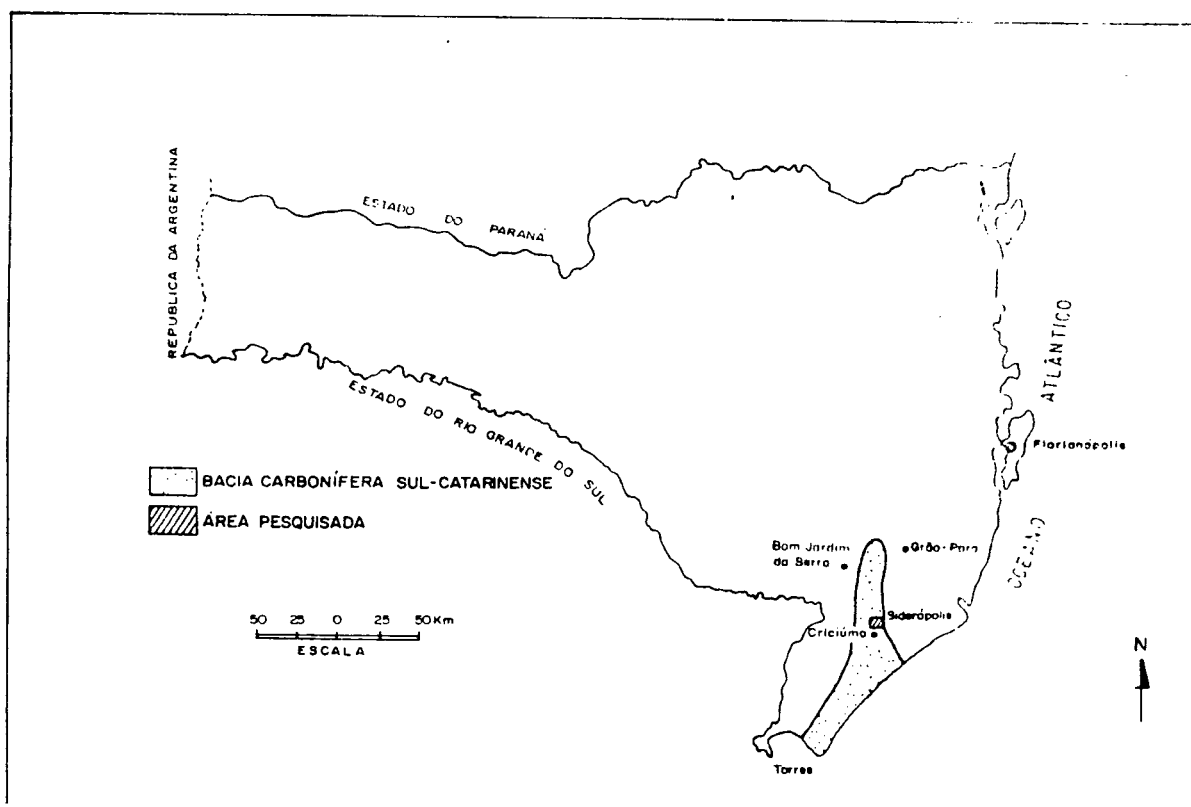


Fig. 12 - Mapa de Localização da Bacia Carbonífera Sul Catarinense.

Fonte: Lenz e Ramos, 1985, modificado

interessado no aproveitamento do carvão sul-brasileiro, criou a Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil. Os trabalhos de pesquisa necessários ao melhor conhecimento da geologia da região, foram confiados ao geólogo americano Israel A.C.White, escolhido pelo então Ministro de Industria, Viação e Obras Publicas, Dr. Lauro Severiano Müller.

WHITE (1908), publicou o Relatório Final dos Trabalhos de pesquisa realizados durante os anos de 1904 a 1906 e estabeleceu a coluna estratigráfica do "Sistema Santa Catarina", hoje conhecida internacionalmente como Coluna White.

Vários trabalhos surgiram a posteriori, com o propósito de realizar revisões estratigráficas, deles resultando dezenas de colunas, com variadas denominações para séries, formações, membros e fácies. Das várias colunas propostas, a mais frequentemente utilizada é a elaborada por SCHNEIDER et alli (1974) por ser a mais completa (Quadro 1)

A Formação Rio Bonito é uma unidade litoestratigráfica que faz parte do contexto da Bacia do Paraná, inserida por Schneider, no Super Grupo Tubarão, Grupo Guatá.

O Grupo Guatá é constituído por siltitos cinza-esverdeados, bioturbados, por arenitos com intercalações de camadas de carvão e folhelhos carbonosos. GORDON (1947) propôs este termo para designar os siltitos e arenitos aflorantes nas



imediações da cidade de Guatá (SC), englobando como formações, as camadas Rio Bonito e Palermo, descritos por White (1908).

BORTOLUZZI et alli (1978) caracterizaram a Formação Rio Bonito em Santa Catarina como um pacote sedimentar depositado sobre o Grupo Itararé, constituído de uma seção basal arenosa, uma seção média essencialmente argilosa e uma superior areno-argilosa, contendo os principais leitos de carvão explorados na Bacia do Paraná.

MEDEIROS e THOMAS (1973) fizeram a primeira tentativa de revisão estratigráfica da Formação Rio Bonito, subdividindo-a em três intervalos: inferior, médio e superior. Não propuseram contudo, denominações formais.

SCHNEIDER et alli (1974) realizaram uma revisão estratigráfica nas sequências litológicas que compõem a Bacia do Paraná e formalizaram as denominações Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis na categoria de membros. Segundo esses autores, a porção inferior, Membro Triunfo, é essencialmente constituída por arenitos esbranquiçados, finos a médios, localmente grosseiros, regularmente selecionados, com grãos subarredondados. Arenitos finos, siltitos, argilitos, folhelhos carbonosos, leitos de carvão e conglomerados ocorrem subordinadamente. Estratificação cruzada, planar e acanalada é a principal estrutura sedimentar da unidade. Depósitos residuais

de canais e ciclos de granodecrescência ascendente ("finning upward") aparecem com frequência. Através de estudos faciológicos, inferiram sobre a paleogeografia e os ambientes deposicionais desta formação.

A paleogeografia do Permiano da Bacia do Paraná indicaria, para esta unidade, o predomínio de um mar raso epicontinental, desde o início da sedimentação dos folhelhos superiores da Formação Itararé. O mar teria sido raso, com movimentações cíclicas, declives de fundo muito baixos, facilitando rápidas transgressões. Em ocasiões de grande suprimento sedimentar teriam sido depositados arenitos progradacionais e mesmo fluviais diretamente sobre argilas e siltes prodeltáicos. Ao final da deposição da Formação Itararé, a região sul de Santa Catarina seria dominada por extensas planícies de maré, reconhecidas através dos espessos pacotes sedimentares com estruturas "flaser", que constituem a parte superior desta formação.

No início do Permiano Médio a Bacia do Paraná compunha-se praticamente de uma plataforma plana, com declive muito suave. A sedimentação respondia às flutuações do nível do mar, do nível de base, à subsidência e compactação diferencial e a provável influência de uma longínqua glaciação continental. Os rios corriam em direção as áreas costeiras e, onde a subsidência era relativamente mais intensa, desenvolviam deltas, quando as condições de suprimento sedimentar eram favoráveis.

Planícies costeiras estendiam-se desde o Rio Grande do Sul, passando pelo sul de Santa Catarina até o norte do Paraná. A atual faixa de afloramentos corta irregularmente as antigas linhas de costa, mostrando regiões de mangues costeiros, onde hoje ocorrem depósitos de carvão, passando inclusive por áreas interdeltáicas que constituíram plataforma de carbonatos.

No sul de Santa Catarina os autores observam a existência de uma região de relevo acentuado bordejando a bacia, relevo este parcialmente preservado na área de Criciúma-Alfredo Wagner. Nessa área ocorre a presença de arenitos grosseiros, conglomerados e sedimentos carbonosos.

O sistema deposicional dominante no intervalo basal da Formação Rio Bonito era flúvio deltaico. Rios formavam canais meandantes com barras em pontal nas áreas mais distantes do litoral e atingiam a costa, formando canais distributários pertencentes a planícies deltaicas.

Nas regiões interdistributárias originaram-se depósitos de carvão e folhelhos carbonosos com abundância de restos de vegetais. O mesmo aconteceu nas áreas mais altas, junto às fácies de canais fluviais. Deste complexo sedimentar destacam-se as fácies de planície deltaica e de frente deltaica, identificadas principalmente na região de Rio do Sul. Neste local, a subsidência da planície costeira foi mais intensa, marcando passo com a sedimentação progradacional e preservando



maior espessura sedimentar. As areias progracionais, em grande parte da área, depositaram-se diretamente sobre sedimentos de planícies de marés da Formação Itararé, ressaltando-se que o suprimento sedimentar era superior aos efeitos dissipadores da energia da bacia receptora, permitindo o desenvolvimento de deltas lobados, altamente construtivos. Mais para o interior da bacia, o intervalo superior da Formação Itararé comporta-se como fácies prodeltáicas, pertencendo também ao sistema deposicional da Formação Rio Bonito.

ABDARRAGE e LOPES (1986) citado por Bortoluzzi et alli (1990), estudaram aproximadamente 2500 furos de sonda e afloramentos da Formação Rio Bonito. A composição litológica encontrada para o Membro Triunfo é predominantemente de arenitos e conglomerados cinza-claros. Os arenitos variam de finos a grossos com estratificação cruzada de grande porte e "ripples". Localmente os arenitos são finos, bem selecionados, com laminação truncada por ondas. Os conglomerados compõem-se de areias grossas, granitos e seixos de tamanho e composição variáveis (rochas ígneas, metamórficas e sedimentares), imersos em matriz areno pelítica ou arenosa (paraconglomerados); ortoconglomerados podem apresentar imbricação do material do arcabouço. Secundariamente são encontrados pelitos cinza-escuros, carbonosos, maciços, e pelitos com estratificação dos tipos "wavy" e "linsen".

O contato inferior do Membro Triunfo é normalmente

concordante com a Formação Rio do Sul.

O Membro Paraguaçu é constituído por uma sequência de siltitos e folhelhos intercalados com camadas de arenitos finos e leitos de rochas carbonáticas. Laminação paralela é a estrutura sedimentar dominante nos siltitos e folhelhos. Laminação ondulada e cruzada são encontradas nos corpos arenosos. Laminação algálica e estruturas de dissecação estão presentes nas rochas carbonáticas. Bioturbação é também frequentemente encontrada conferindo às rochas carácter maciço.

Segundo MEDEIROS e THOMAZ (1973) essa sedimentação ocorreu em ambiente marinho de avanço transgressivo do mar, permitindo que a superfície de erosão fosse coberta por uma camada de siltitos, originando uma plataforma submarina muito plana e rasa.

Fácies de areias transgressivas, provavelmente baixios arenosos ("sand flats") e areias litorâneas, sobre arenitos do intervalo inferior, indicam o avanço do mar sobre planícies deltáicas, ocasionando destruição e retrabalhamento de parte desta superfície deltáica. Estes intervalos possuíam fósseis marinhos e bioturbação caracterizada por furos verticais realizados por lamelibrânquios. Intervalos semelhantes, com as mesmas características de bioturbação, encontram-se em grande parte da faixa de afloramentos de Santa Catarina, sendo associados a conchas marinhas em subsuperfície.

Com as fases de sedimentação progradacional intercalaram-se areias relativamente limpas de frente deltaica, com siltitos e folhelhos prodeltaicos. Em baías interdelticas desenvolveram-se plataformas de carbonatos.

A partir de Santa Catarina, em direção ao Rio Grande do Sul, o Membro Paraguaçu acunha, desaparecendo por digitação com sedimentos flúvio-deltaicos do Membro Triunfo na região de Torres - Arroio Teixeira.

A parte superior, denominada de Membro Siderópolis, consiste em camadas de arenitos muito finos cinza - escuros, intercaladas com leitos de argilitos e folhelhos carbonosos, com desenvolvimento local de leitos de carvão.

Laminação plano-paralela e ondulada, associada por vezes com estratificação cruzada de pequeno porte, predomina neste intervalo. Localmente ocorrem arenitos médios a grosseiros com estratificação cruzada de alto ângulo, associados por vezes com restos de madeira silicificada.

A maior espessura medida foi de 130 m na região sudeste de Santa Catarina.

O contato inferior com o Membro Paraguaçu é concordante, observando-se localmente interdigitação entre essas duas unidades. O contato com a Formação Palermo é concordante.

Medeiros e Thomaz (1973) descrevem esta seqüência como tendo sido depositada em ambiente marinho, onde ocorreram mudanças litorâneas associadas a frentes deltaicas, evidenciando o avanço de rios meandantes cortando a superfície deltaica e atingindo a região costeira. Fácies carbonosas associaram-se a estes ambientes, estando melhor desenvolvidas e preservadas na região sul de Santa Catarina, incluindo o intervalo de carvão Barro Branco, originado em lagunas e margens costeiras, cobertos por areias finas, bem estratificadas, pertencentes a cordões litorâneos que transgrediram sobre essas fácies palustres.

Aboarrage e Lopes (1986) citados por Bortoluzzi et alli (1990) caracterizam o Membro Siderópolis como uma seqüência essencialmente arenosa, representada por arenitos finos a muito finos, quartzosos e siltito-arenosos, em geral de cor cinza-claro e cinza médio, com laminação plano paralela de pequeno a grande porte, truncada por ondas, acamadamento "flaser" e "drape", bioturbação de grau variável e fluidização. Ocorrem também pacotes lenticulares de arenitos médios a grossos, cinza-claros, feldspáticos, com grãos angulosos, e estratificações cruzadas acanaladas e tabulares de pequeno a grande porte. Em geral, na base destes arenitos ocorrem arenitos finos a muito finos, com laminação cruzada cavalgante e laminação cruzada. As litologias pelíticas são representadas por siltitos cinza-médios a cinza-escuros, com acamadamento "wavy" e "linsen" que se associam aos arenitos com laminação truncada por ondas. São encontrados siltitos cinza-escuros a pretos carbonosos, em geral

maciços, com impressões de plantas, que associam-se em alguns locais a camadas de carvão. As principais camadas de carvão em Santa Catarina encontram-se nesta sequência, podendo atingir até 2 metros de espessura.

Bortoluzzi et alli (1978) detalharam a estratigrafia do Membro Siderópolis na Região Sul do Estado com base na análise de 44 (quarenta e quatro) furos de sondagem realizados pelo convênio DNPM/CPRM e em informações de afloramentos.

Segundo esses autores a sequência sedimentar do Membro Siderópolis é predominantemente arenosa (75,4% de arenitos) à semelhança do membro inferior da formação. Seguem-se em abundância os siltitos (17%) que estão presentes, como os arenitos, em todos os poços. Folhelhos (2,5%) foram constatados em 60% dos poços, enquanto calcários em apenas 30% deles, não alcançando mais que 0,8% do total de sedimentos. Intrusões de diabásio são frequentes aparecendo em 30% das perfurações.

Para a Formação Rio Bonito nos Estados de Santa Catarina e Paraná teriam predominado condições de deposição marinhas, flúvio-deltaicas e litorâneas. No Estado do Rio Grande do Sul o ambiente teria sido continental, litorâneo a transicional e no Estado de São Paulo, o ambiente marinho comandou a deposição de todo o pacote representativo da formação.

### 3. - Hidrogeologia

Segundo PUTZER (1955), o possante arenito Barro Branco inferior, de granulometria mais grossa e de textura porosa, contém água de melhor qualidade e em maior quantidade que os demais aquíferos da sequência Gondwânica Paleozóica.

HAUSMAN (1961) realizou um estudo sobre as possibilidades de água subterrânea tendo por base os grandes traços da hidrogeologia do Rio Grande do Sul, ressaltando a influência estrutural e morfológica nas condições de ocorrência dos lençóis freáticos. Nestes termos, caracterizou a Formação Rio Bonito como a unidade litológica da sequência Paleozóica, com boas condições de armazenar e transmitir água, enquanto as outras formações Gondwânicas eram, na maioria dos casos, negativas. Esta formação apresenta as vezes, por baixo de folhelhos carbonosos, horizontes areníticos que são bons produtores de água, os quais em face do seu confinamento e de suas condições particulares de deposição, podem fornecer condições de artesianismo ou de semi-surgência. O mergulho desta camada em direção ao N e NW faz com que a profundidade dos poços cresça nessa direção na ordem de 14 a 16 m por km, dando grandes possibilidades de artesianismo e mineralização das águas.

Hausman (1965) considera a Formação Rio Bonito no Estado do Rio Grande do Sul como um aquífero. No entanto não possui continuidade, pois manifesta-se normalmente sob a forma de

lentes.

NUNES et alli (1973) estudando o comportamento hidrogeológico da Formação Rio Bonito a partir das características litológicas e estruturais, teceram as seguintes considerações:

"A formação constitui-se como o único aquífero da Província Paleozóica Catarinense, já que 2/3 da sua espessura consiste de arenitos porosos e permeáveis.

É um aquífero de características diversificadas, em virtude da variação litológica, posição estrutural e situação geomorfológica do Grupo Guatá.

Nas áreas onde o Rio Bonito aflora continuamente, sob litologias confinantes da Formação Palermo e seqüências superiores, ele está sob pressão, e nas áreas dissecadas pela erosão ele é livre ou semi-confinado.

A recarga deste aquífero é realizada diretamente pela infiltração de uma taxa, ainda ignorada, das águas meteóricas sobre o "impluvium" que o 2º patamar do planalto sedimentar constitui.

Considerando a pluviometria de 1550 mm anuais, para uma área de cerca de 700 km<sup>2</sup> do Grupo Guatá, o volume precipitado é

da ordem de  $10,5 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ . Além da percentagem deste volume que se infiltra, deve haver também alimentação por drenança.

A circulação se realiza no sentido do interior da bacia, obedecendo as peculiaridades estruturais, sob um gradiente por elas determinado. Nas áreas onde o aquífero é livre, ela se faz no sentido das escarpas".

REBOUÇAS (1976) coloca a Formação Rio Bonito como um aquífero de menor importância. As possibilidades de exploração tornam-se proibitivas, devido as grandes profundidades a que é projetado, na medida que avança para o centro da bacia. As características faciológicas das sequências encaixantes e condições de circulação fazem com que as possibilidades de ocorrência de água de boa qualidade sejam muito aleatórias. As melhores possibilidades de exploração ficam restritas aos domínios aflorantes. Cita, com base em dados de perfuração de poços de sondagens, que a espessura da Formação Rio Bonito no Estado de Santa Catarina varia de 238 a 861m.

Segundo MACHADO et alli (1984) a Formação Rio Bonito se constitui no principal aquífero da sequência, por ter o maior número de pontos de água plotados em sua área de ocorrência. Nos 15 (quinze) poços tubulares amostrados, a profundidade dos níveis estáticos varia de surgente até 9,50 metros e nos poços escavados varia de 2,25 m a 16 m.



A alimentação do aquífero Rio Bonito é feita principalmente através de infiltração direta das precipitações. A própria área do estudo representa a recarga do aquífero. Esta formação é constituída por uma seqüência de arenitos finos, siltitos, folhelhos e carvão. Sobre estas litologias ocorre uma camada de solo arenoso de espessura variável e com boa permeabilidade. A drenagem superficial não atua na realimentação do aquífero, pois os rios tem caráter efluente.

Segundo SILVA (1983), a Formação Rio Bonito é o principal aquífero da região, com camadas produtivas de arenitos com granulação fina a média, em alguns locais entremeados por leitos de carbonatos ou com cimento calcífero, calcários e siltitos argilosos, todos ostentando fraturamento disseminado.

FRANÇA (1984) estudou a porosidade secundária dos arenitos das Formações Rio Bonito e Itararé e considerou a seqüência composta por arenitos depositados em ambientes costeiros - barras marinhas retrabalhadas pela ação de ondas, gerando arenitos bem selecionados, limpos e extremamente quartzosos, constituindo-se em excelentes reservatórios. Os valores de porosidade atingem 25% (perfil de densidade) e as medidas de permeabilidade acusam até 5300 milidarcys. Na Formação Rio Bonito, os processos químicos de obliteração da porosidade secundária são ineficientes como um todo, pois em algumas áreas o arenito possui ainda 25% de porosidade com boa a excelente permeabilidade.

Em estudo realizado pela CETESB (1978), o Grupo Tubarão é definido sob o ponto de vista hidrogeológico, como uma unidade extremamente heterogênea e de difícil definição dos parâmetros hidrogeológicos, em função da variação litológica irregular. Devido a importância sócio-econômica das regiões de afloramento destes sedimentos, a grande extensão dessas regiões (aproximadamente 20.000 km<sup>2</sup>) e as grandes espessuras que atingem (cerca de 1000 metros), este grupo justifica um estudo mais detalhado de suas potencialidades aquíferas.

ODA et alli (1990) realizaram um estudo hidrogeológico da Folha Salto Pirapora, Estado de São Paulo, e estabeleceram que as rochas sedimentares do Grupo Tubarão, Sub-Grupo Itararé, sustentam a outra unidade aquífera da região. Constituindo-se por arenitos permo-carboníferos, apresentados sobre discordância erosiva do Embasamento Cristalino, formam um aquífero do tipo granular, que por sua grande heterogeneidade horizontal e vertical se caracteriza como anisotrópico em relação a permeabilidade.

#### 4. - Hidrodinâmica

NUNES et alli (1973), baseados nas informações de oito poços perfurados pela empresa Geologia e Sondagem Ltda (GEOSOL) nas cidades de Criciúma e de Içara, definiram as seguintes características para a Formação Rio Bonito:

Tabela - 2 - Características Hidrogeológicas da Formação  
Rio Bonito

Prof. (m)	NE (m)	ND (m)	Vazão (l/h)	Vazão esp. (l/h/m)	
Média	84	5	17	9.800	1.050
Máxima	140	11	20	12.300	2.200
Mínima	40	1	7	8.000	800

Baseados em dados de vazão específica de 1000 l/h/m, os rebaixamentos médios obtidos foram considerados bastante homogêneos e sem dispersão notável. Para uma vazão horária de 20m é possível obter destes poços uma descarga efetiva de 400m/dia por poço.

REBOUÇAS (1976) cita que a PETROBRAS através de poços de sondagens perfurados na Formação Rio Bonito no Estado de Santa Catarina, obteve uma variação de permeabilidade de 0,1 a 1,0 m/s e uma porosidade entre 9% a 22%.

Silva (1983) através de dados de ensaios de bombeamento de poços para captação de água subterrânea no Município de Içara, obteve as seguintes informações:

No poço P-3 obteve uma vazão de  $80 \text{ m}^3/\text{h}$  ( $22,22 \text{ l/s}$ ), com um nível dinâmico de 18 metros e o rebaixamento do nível na ordem de 14 metros. Mostrou recuperação de 220 minutos, à vazão de  $3,79 \text{ m}^3/\text{h}$ .

A permeabilidade média, obtida através da equação de Thiem, foi de  $0,042 \text{ m/h}$  e o raio de influência ao final do bombeamento do patamar  $80.000 \text{ l/h}$ , foi estimado em 390 m.

Através de testes de bombeamento foi obtida a transmissividade de  $18,30 \text{ m}^2/\text{h}$  e o coeficiente de armazenamento de  $7,4 \times 10^{-3}$ .

É viável a utilização de água subterrânea da Formação Rio Bonito, desde que se executem a construção de poços de acordo com a metodologia, a fim de obter as vazões máximas permissíveis e que a água produzida satisfaça os padrões vigentes de potabilidade.

YOSHINAGA et alli (1990) num estudo baseado nas características litológicas, geomorfológicas e nos lineamentos de drenagem do Grupo Tubarão, no Município de Sorocaba, indicaram que a maior produtividade desta unidade ocorre na litologia aflorante e nas feições de vale. A produtividade média foi de  $0,48 \text{ m}^3/\text{h/m}$ .

ODA et alli (1990) definiram o Grupo Tubarão como um aquífero de capacidade limitada, apresentando valores de

transmissividade de 0,34 a 10,0 m<sup>2</sup>/dia e capacidade específica entre 0,02 a 0,55 m<sup>3</sup>/h/m. A vazão média, analisada em 31 poços, é de 4,9 m<sup>3</sup>/h, com desvio padrão de 4,1. A análise da produtividade dos poços em relação a profundidade indicou melhores valores de capacidade específica por metro perfurado no intervalo de profundidade menor de que 100 m, comparativamente aos 100-150 m e > 150m.

## 5. - Hidroquímica

Segundo PUTZER (1955) as águas subterrâneas das fácies Bonito são ácidas, por decomposição da pirita dos carvões.

Silva (1983) utilizando 4 (quatro) poços de sondagem, estudou as características químicas, físicas e físico-químicas das águas subterrâneas no Município de Içara, obtendo os seguintes resultados:

- As águas subterrâneas em zonas carboníferas apresentam teores, por vezes elevados, de sulfetos e sulfatos;

- A oxidação da matéria orgânica, e/ou redução dos sulfatos, origina teores acima do normal de dióxido de carbono e também de carbonatos combinados;

- São suscetíveis de conter quantidades proibitivas de Fe e Mn em solução, sobretudo na presença de pirita;

- A turbidez e a coloração podem ser altas, devido ao conteúdo de finos de carvão em suspensão, oriundos da percolação de água pelos espaços abertos nas camadas de carvão.

Segundo o autor, os resultados analíticos das águas demonstraram uma faciologia hidroquímica pronunciada, em razão da variação litoestratigráfica. Em dois poços, as águas foram classificadas hidroquimicamente como bicarbonata cálcica, potabilidade classe I da escala B.R.G.M. (Bureau de Recherches Géologiques et Minières), na França.

Quanto ao uso destas águas na irrigação, deverá ter-se um cuidado especial, embora os índices de C2S1 (concentração de sais e alcalinização do solo) não indiquem necessariamente a formação de bicarbonato de sódio.

Machado et alli (1984) coletaram e realizaram 44 (quarenta e quatro) análises físicas e químicas das águas subterrâneas, sendo 06 (seis) em poços tubulares, 28 (vinte e oito) em poços escavados e 10 (dez) em nascentes. Segundo a litologia, foram coletadas 03 (três) amostras em poços escavados e 04 (quatro) em nascentes nas rochas fissuradas (Formação Serra Geral). Na área abrangida pelas rochas sedimentares (Formações Rio Bonito, Palermo, Irati, Estrada Nova, Rio do Rasto e Quaternário Indiviso foram coletadas 06 (seis) em poços tubulares, 25 (vinte e cinco) amostras em poços escavados e 06 (seis) em nascentes. Do total das 44 (quarenta e quatro) amostras analisadas, foram

considerados os resultados de 37 ( trinta e sete), sendo eliminados 07 (sete) resultados que apresentaram erros fora dos limites do erro permissível LOGAN (1965). Segundo os autores os resultados das análises configuram a estas águas as seguinte características:

- Rochas Fissuradas:

- Dos resultados das análises físicas, mostraram que a condutividade elétrica apresenta valor médio de 96,6  $\mu\text{mhos/cm}$  e baixo grau salinização com resíduo seco médio de 57,5 mg/l;

- Com relação ao pH, as águas amostradas variam de ácidas a neutras (4,9 a 7,3);

- Segundo a classificação de KLUT OLSZEWSKI (1965) as águas foram classificadas como "águas muito moles" (dureza até 7 °F);

- As relações iônicas e o índice de Troca de Bases, mostraram que estas águas apresentam valores entre os limites mais frequentes, e são pouco salinas.

- Rochas Sedimentares:

- Para a condutividade elétrica, apenas 23,3% das águas amostradas apresentaram valores inferiores a 100  $\mu\text{mhos/cm}$  e o valor médio de 503,1  $\mu\text{mhos/cm}$ ; com relação ao resíduo seco o

valor médio encontrado foi de 488,6 mg/l, sendo que 86,7% das amostras estão abaixo de 300 mg/l e 13,3% estão acima de 500 mg/l.

- O pH varia de ácida a alcalina (3,1 a 7,1) e um pH médio de 5,1. Apenas 3,3 dos valores são superiores a 7,0;

- Com relação a dureza o valor médio é de 104 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , ou seja, 10°F. Segundo a classificação de KLUT OLSZEWSKI (1965), 83,3% das águas são classificadas como "muito moles", 3,3% são "moles", 3,3% são "algo duras" e 10% são "muito duras";

- Para a acidez, o valor médio é de 160 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , sendo 53,5% das amostras apresentam valores superiores a 50mg/l e 30 % são superiores a 100 mg/l.

Através do diagrama de PIPER, foram determinados os tipos químicos (grupo e subgrupo) das águas amostradas; pelos diagramas de STIFF foram elaboradas representações planas das características químicas dos diferentes tipos de água. Para a área de Siderópolis, os poços tubulares e poços escavados mais profundos, localizados próximos as áreas de mineração, mostram um maior aporte de sulfatos.

Com relação aos metais pesados, foram coletadas 31 (trinta e uma) amostras, sendo 06 (seis) em poços tubulares e 25 (vinte e cinco) em poços escavados. O vanádio e o estrôncio não apresentam concentrações acima do estabelecido pela Organização



Mundial da Saúde (O.M.S). Para os demais elementos o índice de contaminação nas amostras são os seguintes: ferro 37,8%, cobre 8,1%, chumbo 5,4%, zinco 40,5%, cobalto 24,3%, manganês 45,9%, cromo 2,7%, alumínio 16,2% e níquel 13,5%

Foram coletadas 30 (trinta) amostras para verificar o grau de potabilidade, estabelecido por SCHÖELLER (1962). Cerca de 66,7% das amostras não ultrapassaram o limite mínimo, 13,3% estão entre os limites pré-determinados e 20% estão acima do valor admissível, o que torna esse último grupo impróprio para o consumo humano.

Para o uso na irrigação, foram coletadas 37 (trinta e sete) amostras. Apenas 2,70% das águas pertencem ao tipo C3-S1 (condutividade a 25°C entre 750 e 2250  $\mu\text{hms/cm}$  - baixo risco de contaminação por alcalinização) e 5,41% ao tipo C4-S1 (condutividade a 25°C maior que 2250  $\mu\text{hms/cm}$  - baixo risco de contaminação por alcalinização), conforme procedimento do U.S. Salinity Laboratory Staff.

Conforme se pode verificar da revisão bibliográfica de que praticamente inexistente conhecimento, com relação aos parâmetros hidrodinâmicos, qualificação e quantificação deste aquífero, apesar da existência de mais de uma centena de poços profundos explotando água subterrânea.

### CAPITULO III

#### METODOLOGIA

## METODOLOGIA

O presente estudo foi desenvolvido em duas etapas, sendo a primeira constituída por uma pesquisa bibliográfica (laboratório) e a segunda pela realização de trabalhos de campo e laboratório e a execução do relatório.

### 1. - Laboratório

#### 1.1. - Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica possibilitou levantar o atual estágio de conhecimento da Formação Rio Bonito, no que tange ao conhecimento das características e particularidades da geologia, parâmetros hidrodinâmicos, qualidade química e os diversos usos das águas subterrâneas contidas nesta unidade.

A revisão bibliográfica sobre a geologia da Formação Rio Bonito permitiu obter informações da estratigrafia, pois através desta identificou-se a sucessão estratigráfica, suas interrelações, particularidades, potência, condições de jazimento; a litologia possibilitou determinar as variações granulométricas, estabelecimento dos limites estratigráficos, estruturais, contatos litológicos e os detalhes lito-estratigráfico que condicionam a saturação do aquífero; o comportamento estrutural do pacote rochoso diante dos esforços tensionais que lhe foram impostos e finalmente as observações

geomorfológicas que possibilitaram caracterizar o tipo de relevo.

A revisão bibliográfica das características químicas das águas subterrâneas da unidade em estudo, possibilitou determinar a formação de diversos tipos de águas subterrâneas, sua zonalidade hidroquímica, evolução da composição química das águas como fonte de suprimento para fins de consumo humano, agrícola e industrial e ainda possibilitou verificar a influência da mineração do carvão sobre a composição química e a qualidade das águas subterrâneas.

## 2. - Trabalhos de Campo e Laboratório

Para o desenvolvimento deste trabalho estabeleceu-se que a escala 1:50.000 é a mais adequada, pois representa graficamente os dados e as informações hidrogeológicas, bem como os resultados das análises químicas sem sobrecarregar de detalhes.

Além destes fatores, outros influenciaram na adoção desta escala, destacando-se :

- a existência de bases cartográfica e geológica na mesma escala ;
- o fato de se possuir suficiente densidade de pontos de informações.

Nos trabalhos de campo foram realizadas medidas do nível estático para referendar o posterior estudo hidrodinâmico, bem como a coleta de amostras de água para execução do estudo hidroquímico.

Os pontos escolhidos para amostragem e obtenção dos parâmetros acima referidos, foram preferencialmente aqueles adotados pela CPRM, no "Estudo da Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Subterrâneos Decorrentes da Extração do Carvão Mineral na Região de Siderópolis e Adjacências", que já encontravam-se locados em planta e possuíam as informações necessárias, como a cota altimétrica e coordenadas U.T.M.

Os 10 (dez) pontos que não constam na listagem da CPRM no estudo acima referido, foram definidos pelo autor e locados em fotografias aéreas na escala 1:50.000, obtidas pelo voo da Cruzeiro do Sul no ano de 1978 e transportados para a folha topográfica denominada Folha Criciúma, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 1976.

Nos pontos em que não estavam definidas as cotas altimétricas, procedeu-se da seguinte maneira:

- Estabeleceu-se uma base de cota definida (no caso, boca da mina São Geraldo), de modo que a distância entre a base e o ponto não ultrapassasse a um raio de 15 km, conseqüentemente a variação da pressão atmosférica é praticamente inexistente;

- O operador deslocava-se da base até o ponto amostrado e retornava ao ponto de origem. O tempo de ida e volta não ultrapassava 15 (quinze) minutos, de forma que a leitura efetuada no altímetro não precisava ser corrigida. Este trabalho foi executado no horário das 7.00h as 9.00h da manhã, tendo em vista que a influência da temperatura, umidade e gravidade não apresenta variação acentuada.

O nível piezométrico do aquífero Rio Bonito foi medido em poços escavados e nas surgências naturais, pois estes pontos permitem o acesso direto ao mesmo. Antes de iniciar as medidas comprovava-se o funcionamento do hidrômetro, examinando o estado das pilhas e do circuito em geral. Verificava-se também a existência de gotas d'água em torno do eletrodo, pois a presença destas ocasiona o fechamento do circuito. Quando ocorria este fato simples sacudidas faziam desaparecer as gotas retidas.

Na coleta das amostras de águas subterrâneas para execução das análises químicas foram observados os seguintes critérios:

-A amostragem ocorreu preferencialmente em poços escavados, utilizando-se balde plástico, previamente lavado com a própria água a ser amostrada;

- As amostras foram coletadas a uma profundidade média de 0,30m abaixo da superfície da lâmina d'água;

- As amostras eram transportadas para garrafas de polietileno de 1,5l;

- Nas vertentes as amostras foram coletadas diretamente com a garrafa, também lavada previamente com a mesma água a ser amostrada.

As amostras eram devidamente etiquetadas, indicando o seguinte:

- Identificação do poço ou da fonte;
- Toponímia;
- Croquis do local exato;
- Aquífero amostrado;
- Modo de amostragem;
- Nível d'água e profundidade da amostra;
- Data e hora;
- Aspecto d'água;
- Valores determinados "in situ" de pH, condutividade e temperatura.

As amostras de água que se destinavam às análises de alcalinidade, acidez, pH e condutividade elétrica não foram preservadas, enquanto que as amostras para análises dos elementos maiores (sódio, potássio, cálcio, magnésio, sulfato, cloreto, bicarbonato e carbonato) e dos elementos menores (chumbo, zinco, cobre, manganês, cádmio, ferro férrico, ferro

ferroso e mercúrio) foram preservadas com ácido nítrico concentrado. A quantidade adicionada de ácido dependia do valor do pH no momento da coleta, pois as amostras teriam que atingir um pH menor que 2 para se obter a correta preservação, conforme estabelece o Guia de Coleta e Preservação de Amostras da CETESB. Para análise do ferro total, cada amostra coletada foi preservada com ácido clorídrico, na proporção de de 2 ml para cada 100 ml de amostra.

As amostras foram acondicionadas em caixas de isopor e mantidas a uma temperatura de 4° C, sendo enviadas diariamente aos laboratórios da Companhia de Desenvolvimento Agrícola do Estado de Santa Catarina (CIDASC) e da Companhia Carbonífera Rio Deserto Ltda.

## 2.1. - Hidrodinâmica

Para a execução do estudo das Características Hidrogeológicas da Formação Rio Bonito foram determinados os parâmetros hidrodinâmicos (transmissividade, permeabilidade e coeficiente de armazenamento), além destes foram necessárias definições de cota altimétrica da boca do poço, nível estático, nível dinâmico, vazão, espessura da formação aquífera, gradiente hidráulico e velocidade do fluxo d'água.

Os dados dos furos de sondagens do Projeto Pré-Barro Branco, executado pelo convênio DNPM/CPRM, permitiu determinar a



espessura e as características lito-estratigráficas da Formação Rio Bonito na área de estudo.

Os dados obtidos em campo, após tratamento matemático foram locados em planta na escala 1:50.000 para elaboração dos mapas de curvas piezométricas, mapa hidrogeológico, mapa de divisórias de águas superficiais e o perfil hidrogeológico.

A profundidade do nível piezométrico foi determinada a partir do nível do mar (cota de referência).

O traçado das curvas isopiezométricas foi baseado no princípio dos triângulos (o mesmo princípio empregado na representação da superfície topográfica). A equidistância das curvas foi determinada em função do gradiente hidráulico, da escala do mapa e da densidade dos pontos amostrados.

A direção do fluxo regional foi traçada ortogonalmente às curvas isopiezométricas.

O gradiente piezométrico foi determinado a partir da diferença da isopieza antecedente e a seguinte, dividido pela distância entre essas duas isopiezas, de acordo com a fórmula:

$$i = \frac{h_{i-1} - h_{i+1}}{AB}$$

AB

onde:

$i$  = gradiente hidráulico;

$h_{i-1}$  e  $h_{i+1}$  = nível piezométrico;

$AB$  = distância entre dois pontos.

Com base nos dados obtidos através do emprego de rádio isótopos por MACHADO (1984) e aplicando a lei Darcy, pode-se determinar o seguinte:

$T$  = Transmissividade;

$K$  = Permeabilidade;

$i$  = Gradiente Hidráulico;

$Q_n$  = Escoamento Natural.

Do total de 62 (sessenta e dois) relatórios técnicos de construção de poços profundos, somente de 37 (trinta e sete) relatórios foi possível obter as informações mais seguras a cerca dos ensaios de bombeamento.

Em 35 (trinta e cinco) relatórios finais de poços fornecidos pelas empresas perfuradoras, foram executados testes de bombeamento à vazão constante em regime permanente, que consiste em medir os níveis estático e dinâmico no poço que se está bombeando. Os valores de descensos e de vazão pode-se calcular a transmissividade e a capacidade específica, de acordo com as seguintes fórmulas :

$$q = \frac{Q}{SP}$$

### Fórmula Logan

$$T = 1,22 \cdot q$$

onde:

q = Capacidade Específica;

Q = Vazão;

sp = Descenso medido no poço;

1,22 = Constante

Em apenas 02 (dois) poços foram efetuados ensaios de bombeamento escalonados à vazão variável, que consistiu basicamente em três bombeamentos com diferentes vazões e de mesma duração.

Para determinação dos parâmetros hidrodinâmicos foi adotado o método de Jacob, que é uma particularização do método de Theis, utilizando as seguintes fórmulas:

$$d = 0,183 \frac{Q}{T} \quad T = 0,183 \frac{Q}{d} \quad S = \frac{2,25 \cdot T \cdot t_0}{r^2}$$

onde:

d = Descenso Q = Vazão T = Transmissividade

S = Coeficiente de Armazenamento  $t_0$  = tempo inicial

r = Distância entre o poço e o piezômetro.

Em apenas um poço (Município de Maracajá) foi realizado o

ensaio de ascenso. Este ensaio permite determinar a transmissividade (T), de grande utilidade na hora de comprovar o grau de conexão do poço com o aquífero.

A elaboração do perfil geológico obedeceu a seguinte sistemática:

- identificação dos valores geológicos intersectados pela linha do perfil;
- projeção sobre o perfil topográfico dos valores geológicos;
- extrapolação interpretativa dos valores geológicos;
- visualização dos diversos valores do corte geológico.

O mapa de divisórias de águas superficiais foi elaborado com base na topografia que separa as áreas drenadas pelos rios Mãe Luzia e Sangão.

O mapa hidrogeológico representa graficamente uma grande variedade de aspectos distintos das águas subterrâneas contidas nas formações litológicas da área de estudo, dentre os quais destacam-se a definição das unidades aquíferas, aquícludes e aquítardos, e as suas respectivas relações de contato, área de recarga, movimento e descarga da água subterrânea, espessura das camadas aquíferas, distribuição e magnitude da velocidade do fluxo, permeabilidade e transmissividade.

## 2.2. - Hidroquímica

O estudo foi procedido com base em 51 (cinquenta e uma) amostras de águas subterrâneas, sendo que 19 (dezenove) correspondem a coletas efetuadas no ano de 1984 pela CPRM, 24 (vinte quatro) amostras foram coletadas no ano de 1990 pelo autor. Estas 43 (quarenta e três) amostras correspondem às águas subterrâneas contidas no Membro Siderópolis. As 08 (oito) amostras restantes foram amostradas em poços profundos de indústrias que exploram água do Membro Triunfo.

As 24 (vinte e quatro) análises foram realizadas de acordo com as normas técnicas prescritas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - American Public Health Association (1975). A determinação dos parâmetros físico-químicos das águas subterrâneas envolveu a utilização dos seguintes métodos: pH (potenciométrico); condutividade elétrica (condutivímetro de eletrodo); resíduo seco a 180°C (gravimétrico); acidez, alcalinidade e Ca (titulométrico); cloreto (volumétrico), ferro (colorimétrico); sulfato (fotocolimétrico); cádmio, chumbo, cobre, magnésio, manganês, mercúrio e zinco (absorção atômica).

A partir dos resultados das análises físicas e químicas foram calculados todos aqueles valores que posteriormente seria de utilidade para interpretação das ditas análises:

- listagem das amostras com seus respectivos elementos;
- conversão dos resultados de mg/l para meq/l;
- somatório de cations e anions em meq/l e o percentual de cada ion;
- cálculo do índice de Troca de Base segundo SCHÖELLER (1962):

$$rCl^- = r(Na^+ + K^+)$$

$$i.t.b = \frac{rCl^-}{rCl^-}$$

- cálculo das relações iônicas em meq/l:  
 $rMg^{++}/rCa^{++}; rK^+/rNa^+; rNa^+/rCa^{++}; rNa^+/r(Ca^{++} + Mg^{++}); rCl^-/rHCO_3^-; rSO_4^{--}/rCl^-;$

- cálculo do balanço iônico segundo CUSTÓDIO e LLAMAS (1976), onde o somatório de cations e anions representa a soma dos miliequivalentes de anions e de cations e o percentual do erro do balanço de análise vem dado por:

$$\text{erro (\%)} = \frac{\text{Somatório cat.} - \text{Somatório an.}}{\text{Somatório cat.} + \text{Somatório an.}}$$

A determinação do erro teórico, que é o percentual máximo

admissível, aliado a condutividade elétrica, é dado pela relação:

condutividade $\mu\text{S}/\text{cm}$	50	200	500	2000	>2000
erro admissível %	30	10	8	4	4

Para a classificação das águas foram utilizados os seguintes tipos de diagramas:

- O Diagrama de PIPER representa a análise por meio de tres pontos; exige que os íons estejam reduzidos a percentagem. Cada vértice corresponde a 100% do ânion ou do cátion. Segundo CUSTÓDIO e LLAMAS (1976) a vantagem deste diagrama é de poder representar muitas análises sem dar origem a confusões, além do que, águas hidroquimicamente similares são agrupadas em áreas bem definidas.

- Diagrama de CHTCHOUKAREW-SLAVIANOV. Estes autores denominam os diferentes tipos de água segundo sua composição aniônica e catiônica, de tal forma que na denominação não intervem mais ânions e cátions que aqueles cujo por cento de milequivalentes é, respectivamente, igual ou superior ao 25% da soma total de miliequivalentes aniônicos ou catiônicos.

Razão de absorção de Sódio (SAR) em meq/l é calculada pela seguinte expressão:

$$\text{SAR} = \frac{\text{rNa}^+}{\sqrt{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2}}$$

- Diagrama vertical de Schoeller-Berkaloff e de Stif para cada amostra em meq/l;

- Classificação das águas para uso na irrigação, baseada no diagrama e nos padrões do Laboratório de Salinidade de Riverside, do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos.

Os dados assim trabalhados possibilitaram a elaboração de mapas de caráter hidroquímico, que fornecem a composição de cada ponto em relação ao total de pontos amostrados na área. Foram representados graficamente na escala 1:50.000, os seguintes parâmetros:

- Resíduo Seco a 180°C;
- Cations Maiores- em percentual de meq/l ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ );
- Anions Maiores - em percentual de meq/l ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ );
- pH;
- Condutividade Elétrica.
- Relação entre os íons dissolvidos.

### 2.3. - Tratamento Matemático-Estatístico dos Resultados

A partir dos resultados dos testes de bombeamento e das



análises físicas e químicas foram realizados cálculos matemáticos e estatísticos com o objetivo de verificar a confiabilidade dos resultados analíticos e obter um tabela da caracterização hidrodinâmica e hidroquímica do aquífero Rio Bonito, através dos seguintes elementos:

- Média Aritmética;
- Frequência Absoluta;
- Frequência Relativa
- Frequência Absoluta Acumulada;
- Frequência Relativa Acumulada.

Para os resultados das análises de condutividade elétrica e resíduo seco foi efetuada a análise de correlação, tendo em vista que existe uma estreita relação entre os elementos considerados. Este tipo de análise constitui-se num conjunto de métodos e técnicas para o estabelecimento de fórmulas empíricas que interpretam a relação funcional entre os dois parâmetros.

## CAPÍTULO IV

### HIDROGEOLOGIA DA REGIÃO DE SIDERÓPOLIS E ADJACÊNCIAS

## 1. - Generalidades

O desenvolvimento econômico e o crescimento rápido da população da região carbonífera acarretou maior consumo de água de qualidade aceitável. Por outro lado, os problemas de poluição dos recursos hídricos superficiais provocaram maior uso de recursos de água subterrânea em toda a região.

Em face ao crescente número de poços perfurados na região, fazem-se necessárias medidas urgentes no sentido de controlar a construção de poços profundos, no sentido de racionalizar o consumo destas águas, para evitar a sobrexplotação.

A Formação Rio Bonito corresponde a espessa seqüência sedimentar integrada pelas unidades litoestratigráficas conhecidas sob as denominações de Membro Siderópolis, Membro Paraguaçu e Membro Triunfo. Este aquífero é constituído por um pacote de rochas sedimentares de granulagão muito variável, cobrindo uma área aflorante de 84,5 km<sup>2</sup>, correspondendo cerca de 39,05% do território estudado.

Os estudos sobre a Formação Rio Bonito foram direcionados quase que exclusivamente para determinar as características litológicas e estratigráficas, pelo fato desta unidade ser portadora de importantes recursos energéticos. Poucos dados existem, do ponto de vista hidrogeológico, deste importante aquífero na região carbonífera, apesar dos 62 (sessenta e dois) poços profundos que exploram água subterrânea. Os relatórios

técnicos destes poços estão incompletos, dificultando sua utilização para a definição dos parâmetros hidrodinâmicos e a execução de estudos da viabilidade econômica de exploração da água subterrânea desta unidade.

## 2. - Características Hidrogeológicas

Os 216,45 km<sup>2</sup> da área de estudo são constituídos por rochas Gondwânicas representadas pelas formações Rio do Sul, Rio Bonito, Palermo, Irati, Serra Alta, Serra Geral e sedimentos quaternários constituídos por aluviões.

### 2.1. - Formação Rio do Sul

A área aflorante é de aproximadamente 6,182 km<sup>2</sup>, correspondendo a 2,85% das litologias aflorantes na área pesquisada. Devido a sua extensão limitada, permeabilidade e transmissividade baixa, considerou-se esta unidade como um aquífero.

### 2.2. - Formação Rio Bonito

Dentre as diferentes formações geológicas que compõem o trato rochoso da região de estudo, a Formação Rio Bonito é aquela que apresenta o melhor comportamento hidrogeológico (figura 13, anexo 3). Este comportamento é caracterizado pelos seguintes parâmetros:

- as variações litológicas laterais e verticais, ocasionadas por freqüentes mudanças de ambientes, apresentam reflexos diretos nos parâmetros hidrodinâmicos (transmissividade, coeficiente de armazenamento e permeabilidade);

- os parâmetros dimensionais, tais como a extensão, geometria e espessura, compõem condições estratigráficas e estruturais de primeira ordem para armazenamento de água;

- as condições de recarga e de descarga caracterizam esta unidade como um aquífero dinâmico.

A principal forma de recarga do Aquífero Rio Bonito na área de estudo, é a infiltração direta da água das chuvas.

Da cidade de Siderópolis para norte, a infiltração é prejudicada em parte pelo fato do relevo apresentar formas colinosas, com vales encaixados e vertentes íngremes, facilitando desta forma um maior escoamento superficial. Ao sul, a infiltração é facilitada pelas formas côncavo - convexas com vales abertos. Conseqüentemente, a velocidade das águas superficiais é menor, fazendo com que estas permaneçam por mais tempo na superfície do terreno e facilitando o seu poder de penetração no aquífero.

Também é importante considerar a infiltração indireta,

proveniente das camadas rochosas pelíticas sobrepostas à Formação Rio Bonito (Formação Palermo, Formação Irati e Formação Serra Alta), que permite o descenso vertical (conexão hidráulica) das águas subterrâneas ao Aquífero Rio Bonito.

A descarga natural dos aquíferos é realizada através dos principais exutórios naturais, que são os rios, as nascentes e a evapotranspiração.

Praticamente todos os cursos d'água da região recebem contribuições de águas subterrâneas das diferentes unidades hidrogeológicas.

A rede hidrográfica na área de estudo apresenta padrão dendrítico e é bem distribuída, permitindo desta forma que o aquífero Rio Bonito contribua com uma descarga constante de água subterrânea aos rios da região .

As nascentes na área desempenham um papel importante na descarga natural das águas subterrâneas e estão situadas em posição topográfica mais elevada que os níveis de base, constituídos pelas principais drenagens, não ocorrendo portanto, conexão hidráulica rio-aquífero. Desta forma o aquífero contribui com uma parcela significativa de água para os rios da região. Com relação aos aluviões, embora de pequena extensão territorial, constituem-se em áreas de ativa troca de água com os rios, recebendo contribuições nas estiagens e os alimentando

nos períodos de cheia.

Durante a fase de trabalho de campo, foi possível identificar apenas 05 (cinco) fontes, e por razões técnicas não foi possível executar medidas de vazão, contudo observou-se que as descargas eram constantes. Este reduzido número de fontes deve-se ao fato de que extensas áreas são ocupadas por depósitos de rejeitos provenientes da mineração do carvão, cobrindo as vertentes naturais.

#### 2.2.1. - Parâmetros Hidrodinâmicos

A Formação Rio Bonito possui uma grande extensão territorial, fazendo com que esta unidade ora esteja aflorando, ora sotoposta às camadas rochosas mais jovens (figura 14, anexo 3). Conseqüentemente, a pressão hidrostática da água contida na mesma não é constante, desta forma o sistema Aquífero Rio Bonito comporta-se em algumas regiões como aquífero livre e em outras regiões como aquífero semi-confinado e confinado. Também ocorrem os denominados aquíferos suspensos, nos quais as águas são captadas por poços escavados.

As características hidrodinâmicas desta unidade são praticamente desconhecidas, pelo fato de inexistirem ensaios de bombeamentos que permitem obter informações, tanto sobre o poço em si como sobre as características do aquífero.

Outra situação verificada é que os poços foram locados, perfurados e construídos por pessoas desprovidas de quaisquer conhecimentos técnicos e a maioria das locações foram para atender os interesses e necessidades de seus proprietários.

Junto às empresas de sondagem que perfuram poços profundos e indústrias da região que exploram água subterrânea, cadastrou-se 62 (sessenta e dois) poços com os seus respectivos relatórios técnicos. Contudo, conforme já mencionado em vários relatórios os dados estão incompletos ou não oferecem consistência segura para determinar o comportamento hidrodinâmico da Formação Rio Bonito. Desta forma, foram eliminados 25 (vinte e cinco) relatórios, significando que 40,32% das informações foram descartadas.

O anexo 1 contém informações (nível estático, dinâmico, vazão, capacidade específica) de poços profundos perfurados na região de Criciúma, sendo que não foi possível determinar os poços que foram parcialmente ou totalmente penetrantes na Formação Rio Bonito, bem como a sua locação em planta.

A capacidade específica que se constitui como o melhor parâmetro para avaliar as potencialidades de poços tubulares, apresentou valores variáveis, mínimo 0,02 e o máximo de 5,11 m<sup>3</sup>/h/m, cuja média é de 1,8 m<sup>3</sup>/h/m. A distribuição dos resultados mostrou que 54% dos poços cadastrados apresentaram capacidade específica inferior a 1,13 m<sup>3</sup>/h/m. Os restantes se



distribuem em 22% nos intervalos 1,14 a 2,24  $\text{m}^3/\text{h/m}$ , 8% nos intervalos 2,25 a 3,35  $\text{m}^3/\text{h/m}$ , 5% nos intervalos 4,47 a 5,57 e 5,58 a 6,68  $\text{m}^3/\text{h/m}$  e 3% nos intervalos 3,36 a 4,46 e 6,69 a 7,79  $\text{m}^3/\text{h/m}$ . Os resultados dos cálculos encontram-se na tabela 3.

A transmissividade apresentou na região estudada uma elevada variação, desde 0,77 a 202,70  $\text{m}^2/\text{dia}$ . A média obtida foi de 52,20  $\text{m}^2/\text{dia}$ . A distribuição dos resultados mostrou que 54% dos poços perfurados apresentaram transmissividade inferior a 33,30  $\text{m}^2/\text{dia}$ . E os demais 20% ficaram no intervalo 33,31 a 65,83  $\text{m}^2/\text{dia}$ , 13% ficaram compreendidos entre o intervalo 65,84 a 98,36%, 2% com transmissividade entre 130,90 a 163,42 e 163,43 a 195,95  $\text{m}^2/\text{dia}$ , cerca de 5% tiveram valores entre 98,37 e 130,89  $\text{m}^2/\text{dia}$  e finalmente 1% apresentaram transmissividade superior a 195,96  $\text{m}^2/\text{dia}$ , conforme se observa na tabela 4.

As vazões obtidas variam de 1,5  $\text{m}^3/\text{h}$  a 80  $\text{m}^3/\text{h}$ . A média obtida foi de 13,96  $\text{m}^3/\text{h}$ . Em termos percentuais, 94% dos poços apresentaram vazões inferiores a 26,78  $\text{m}^3/\text{h}$ , os resultados se encontram na tabela 5.

A profundidade varia de 40 a 183,22 m, cuja média é de 97,71. A distribuição dos resultados mostrou que 65% dos poços perfurados apresentaram profundidade inferior a 111,61m (tabela 6).

O nível estático varia de 1,0 a 29,70m, média de 9,91m e o

TABELA 3 - RESULTADOS DAS DETERMINAÇÕES DAS FREQUÊNCIAS  
E MÉDIA DA CAPACIDADE ESPECÍFICA ( $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ )

li	Li	fi	fi'	Fi	Fi'	$\times i$	$\times ifi$
0,02	1,13	20	0,54	20	0,54	0,575	11,50
1,14	2,24	8	0,22	28	0,76	1,69	13,52
2,25	3,35	3	0,08	31	0,84	2,80	8,40
3,36	4,46	1	0,03	32	0,85	3,91	3,91
4,47	5,57	2	0,05	34	0,92	5,02	10,04
5,58	6,68	2	0,05	36	0,97	6,13	12,26
6,69	7,79	1	0,03	37	1,00	7,24	7,24
Somatório		37	1,00	/	/	/	66,87

$$\mu = \frac{66,87}{37} = 1,8 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$$

TABELA 4 - RESULTADOS DAS DETERMINAÇÕES DAS FREQUÊNCIAS  
E MÉDIA DA TRANSMISSIVIDADE

li	Li	fi	fi'	Fi	Fi'	xi	xifi
0,77	33,30	20	0,54	20	0,54	17,03	340,60
33,31	65,83	7	0,20	27	0,73	49,57	346,99
65,84	98,36	5	0,13	32	0,86	82,10	410,50
98,37	130,89	1	0,02	33	0,90	114,63	114,63
130,90	163,42	1	0,02	34	0,92	147,16	147,16
163,43	195,95	2	0,05	36	0,97	179,69	359,58
195,96	228,48	1	0,02	37	1,00	212,22	212,22
Somatório		37	1,00	/	/	/	1931,68

$$\mu = \frac{1931,68}{37} = 52,20 \text{ m}^2/\text{dia}$$

TABELA 5 - RESULTADOS DAS DETERMINAÇÕES DAS FREQUÊNCIAS  
E MÉDIA DA VAZÃO (m<sup>3</sup>/h)

li	Li	fi	fi'	Fi	Fi'	xi	xifi
1,5	14,14	25	0,67	25	0,67	7,82	195,5
14,15	26,78	10	0,27	35	0,94	20,46	204,6
26,79	39,42	1	0,03	36	0,97	33,10	33,1
39,43	52,06	0	-	-	-	-	-
52,07	64,70	0	-	-	-	-	-
64,71	77,34	0	-	-	-	-	-
77,35	89,98	1	0,03	37	1,00	83,66	83,66
Somatório		37	1,00	/	/	/	516,86

$$\mu = \frac{516,86}{37} = 13,96 \text{ m}^3/\text{h}$$

TABELA 6 - RESULTADOS DAS DETERMINAÇÕES DAS FREQUÊNCIAS  
E MÉDIA DA PROFUNDIDADE (m)

li	Li	fi	fi'	Fi	Fi'	xi	xifi
40	63,87	9	0,24	9	0,24	51,93	466,37
63,88	87,74	5	0,14	14	0,38	75,81	379,05
87,75	111,61	10	0,27	24	0,65	99,68	996,80
111,62	135,48	9	0,24	33	0,89	123,55	1111,95
135,49	159,35	1	0,03	34	0,91	147,42	147,42
159,36	183,22	3	0,08	37	1,00	171,29	513,87
Somatório		37	1,00	/	/	/	3615,42

$$\mu = \frac{3615,42}{37} = 97,71m$$

TABELA 7 - RESULTADOS DAS DETERMINAÇÕES DAS FREQUÊNCIAS  
E MÉDIA DO NÍVEL ESTATICO (m)

li	Li	fi	fi'	Fi	Fi'	xi	xifi
1,0	5,62	20	0,54	20	0,54	3,31	66,20
5,63	10,24	6	0,17	26	0,70	7,93	47,58
10,25	14,86	2	0,06	28	0,75	12,55	25,10
14,87	19,48	0	-	-	-	-	-
19,49	24,10	4	0,10	32	0,86	21,88	87,20
24,11	28,72	4	0,10	36	0,97	27,46	109,84
28,72	33,34	1	0,03	37	1,00	31,03	31,03
SOMATÓRIO		37	1,00	/	/	/	366,95

$$\mu = \frac{366,95}{37} = 9,91m$$

TABELA 8 - RESULTADOS DAS DETERMINAÇÕES DAS  
FREQUÊNCIAS E MÉDIA DO NÍVEL  
DINÂMICO (m)

li	Li	fi	fi'	Fi	Fi'	xi	xifi
5,0	22,72	16	0,43	16	0,43	13,86	221,76
22,73	40,44	13	0,35	29	0,78	31,58	410,54
40,45	58,16	2	0,05	31	0,84	49,30	98,60
58,17	75,88	2	0,05	33	0,89	67,02	134,04
75,89	93,60	2	0,05	35	0,94	84,74	169,48
93,61	111,32	1	0,02	36	0,97	102,46	102,46
111,33	129,04	1	0,02	37	1,00	120,18	120,18
Somatório		37	1,00	/	/	/	1257,06

$$\mu = \frac{1257,06}{37} = 33,97 \text{ m}$$

nível dinâmico 5 a 115 m, média de 33,97m (tabelas 7 e 8).

#### 2.2.1.1. - Distribuição Estatística dos Parâmetros Hidrodinâmicos

As distribuições estatísticas dos dados obtidos estão ilustradas sob a forma de histogramas de frequência (figuras 15,16 e 17) enquanto que nas tabelas 3 a 8 encontram-se os dados numéricos a partir dos quais foram constituídos os histogramas.

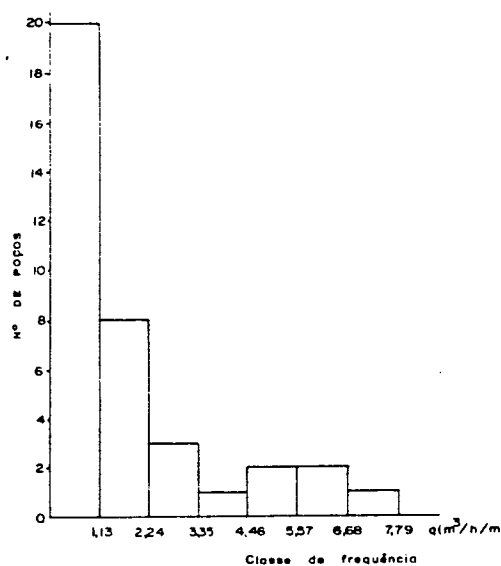
#### 2.2.1.2. - Desempenho Hidrodinâmico

Dos 62 (sessenta e dois) poços profundos que exploram água da unidade aquífera Rio Bonito na região, somente em dois poços foram executados os testes de bombeamento em conformidade com as normas usuais. Tanto para o poço P-3, como para o poço C1-15C, foi executado o teste de bombeamento em regime escalonado. As tabelas 9 e 10 registram os resultados obtidos no estágio 3 (três). Com relação aos estágios 1 e 2 encontram-se no anexo 1.

SILVA (1983) calculou os parâmetros hidrodinâmicos (transmissividade e permeabilidade) referentes ao poço P-3 localizado na cidade de Içara. Contudo, o autor transformou as unidades em  $m^2/dia$  e  $m/dia$  por serem as unidades mais utilizadas universalmente (figuras 18 e 19) .



Capacidade Específica no Aquífero  
Rio Bonto



Transmissividade no Aquífero  
Rio Bonito

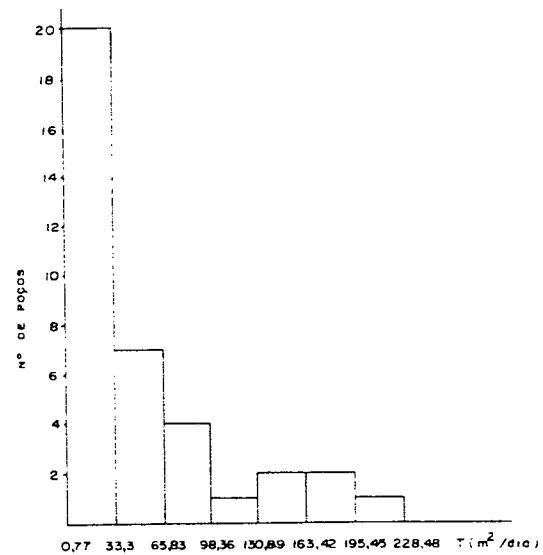


Fig. 15 - Distribuição de Frequência da Capacidade Específica e da Transmissividade

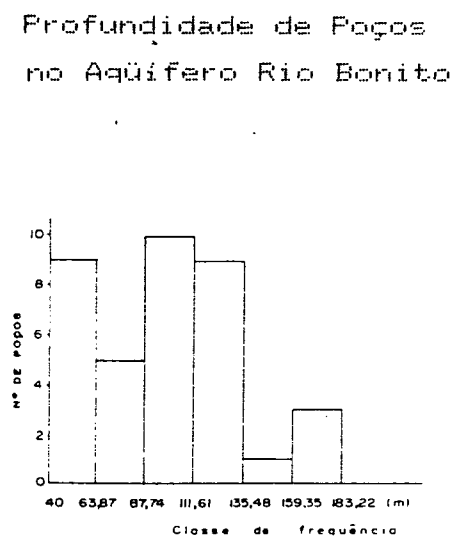
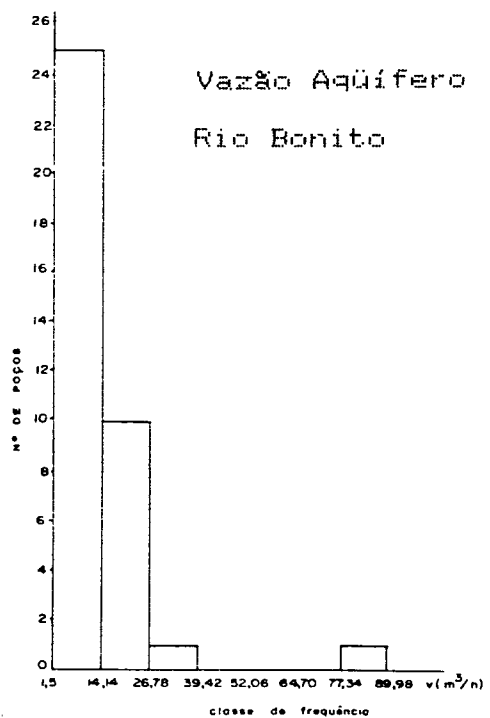
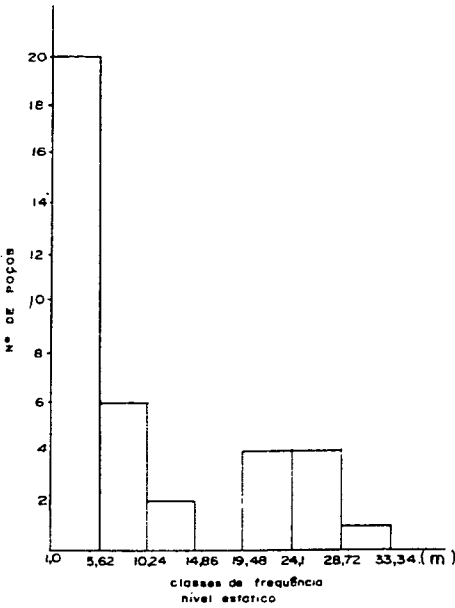


Fig. 16 - Distribuição de Frequência da Vazão e Profundidade

Nível Estático no  
Aqüífero Rio Bonito



Nível Dinâmico no  
Aqüífero Rio Bonito

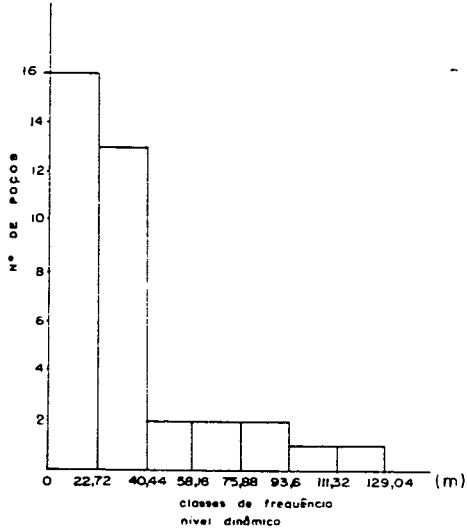


Fig. 17 - Distribuição de Frequência do Nível Estático e Dinâmico

ENSAIO DE BOMBEAMENTO  
 MEDIDAS SE DESCENSO  
 VAZAO - 80.0001/h

FURO - P3  
 DATA - 04/7/82  
 TEMPO DE BOMBEAMENTO - 9 HORAS

ESTAGIO - 3				ESTAGIO - 3			
HORA	T min.	NÍVEL (m)	DESCENSO (m)	HORA	T min.	NÍVEL (m)	DESCENSO (m)
0	0	15,86	11,71	160	17,85	13,70	
5		16,99	12,84	3	180	17,90	13,75
10		17,04	12,89		210	17,94	13,79
15		17,10	12,95	4	240	17,97	13,82
20		17,15	13,00	5	300	17,99	13,84
25		17,25	13,10	6	360	18,02	13,87
30		17,29	13,14	7	420	18,04	13,89
35		17,34	13,19	8	480	18,05	13,90
40		17,38	13,23	9	540	18,06	13,91
45		17,43	13,28				
50		17,45	13,30				
55		17,47	13,32				
60		17,52	13,37				
70		17,58	13,43				
80		17,62	13,47				
90		17,65	13,50				
100		17,70	13,55				
110		17,74	13,59				
2	120	17,78	13,63				
	140	17,85	13,70				

Fonte - CIA. T. JANER Relatório do Poço JS-CA-2559/2  
 Julho - 1982

TABELA 9 - TESTE DE BOMBEAMENTO

ENSAIO DE BOMBEAMENTO  
 MEDIDAS SE DESCENSO  
 VAZÃO - 15840 l/h

FURO - C1 - 15C  
 DATA - 04 /07/82  
 TEMPO DE BOMBEAMENTO - 9 HORAS

ESTAGIO - 3				ESTAGIO - 3			
HORA	T min.	NÍVEL (m)	DESCENSO (m)	HORA	T min.	NÍVEL (m)	DESCENSO (m)
0	0	7,22	0	160	28,38	21,16	
5	17,52	10,30		3	180	28,84	21,62
10	16,45	9,23		210	29,94	22,72	
15	16,02	9,70		4	240	31,01	23,79
20	18,64	11,42		5	300	32,91	25,69
25	19,33	12,11		6	360	34,02	26,80
30	20,01	12,79		7	420	34,77	27,55
35	20,46	13,24		8	480	34,32	27,10
40	20,79	13,57		9	540	34,14	26,92
45	21,00	13,78					
50	21,35	14,13					
55	21,83	14,61					
60	22,39	15,17					
70	23,37	16,15					
80	24,09	16,87					
90	24,89	17,67					
100	25,52	18,30					
110	26,28	19,06					
120	27,01	19,79					
140	27,79	20,57					

Fonte - COPERCAL - Poços Artesianos Indústria e Comércio Ltda  
 Julho - 1982

TABELA 10 - TESTE DE BOMBEAMENTO

# ENSAIO DE BOMBEAMENTO - DESCENSO - POÇO P3-1ÇARA

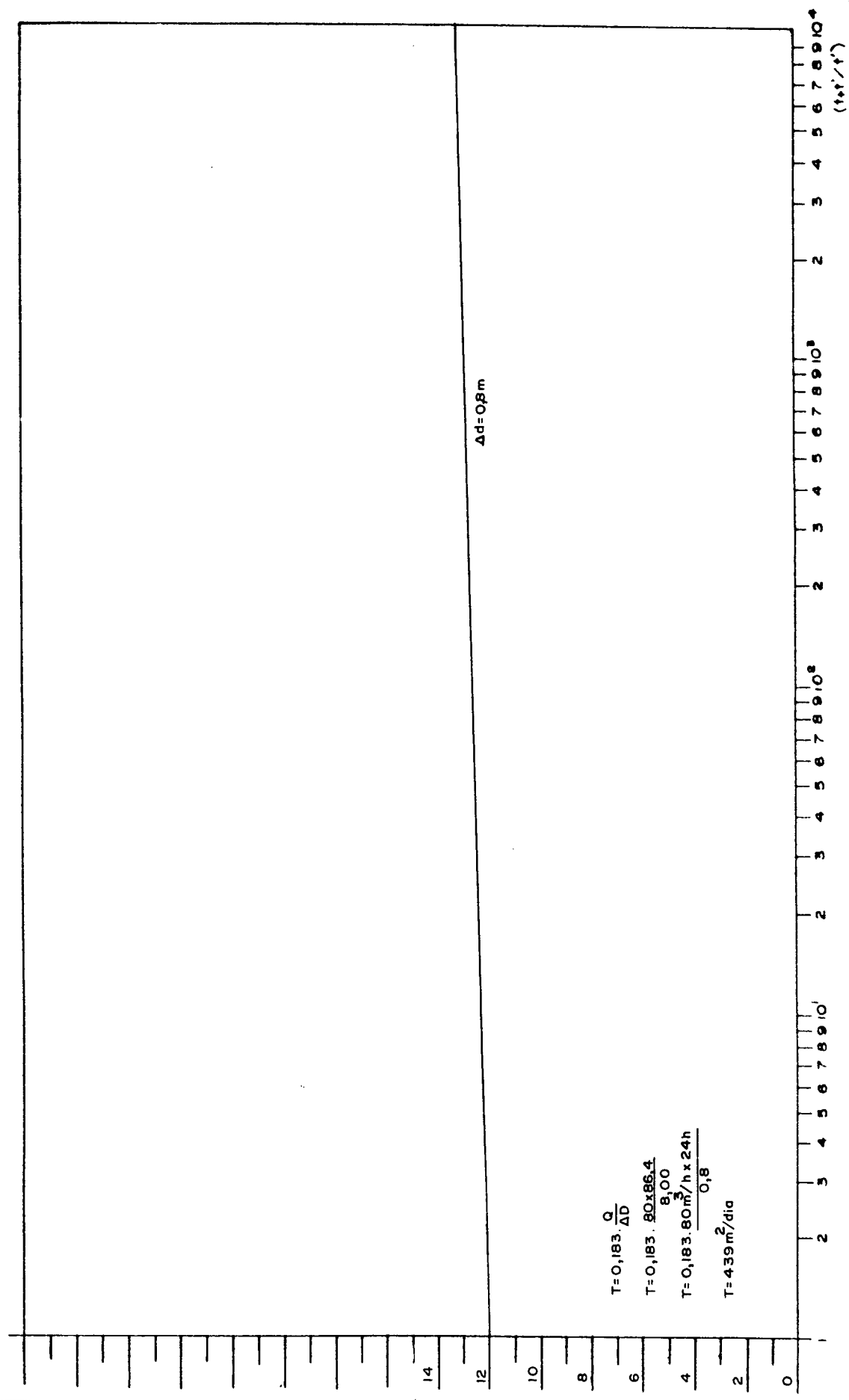


Fig. 18 - Gráfico Tempo x Rebaixamento de Nível do Poço P3  
Vazão 80 m³/h

ENSAIO DE BOMBEAMENTO - RECUPERAÇÃO - POÇO P3 - IÇARA

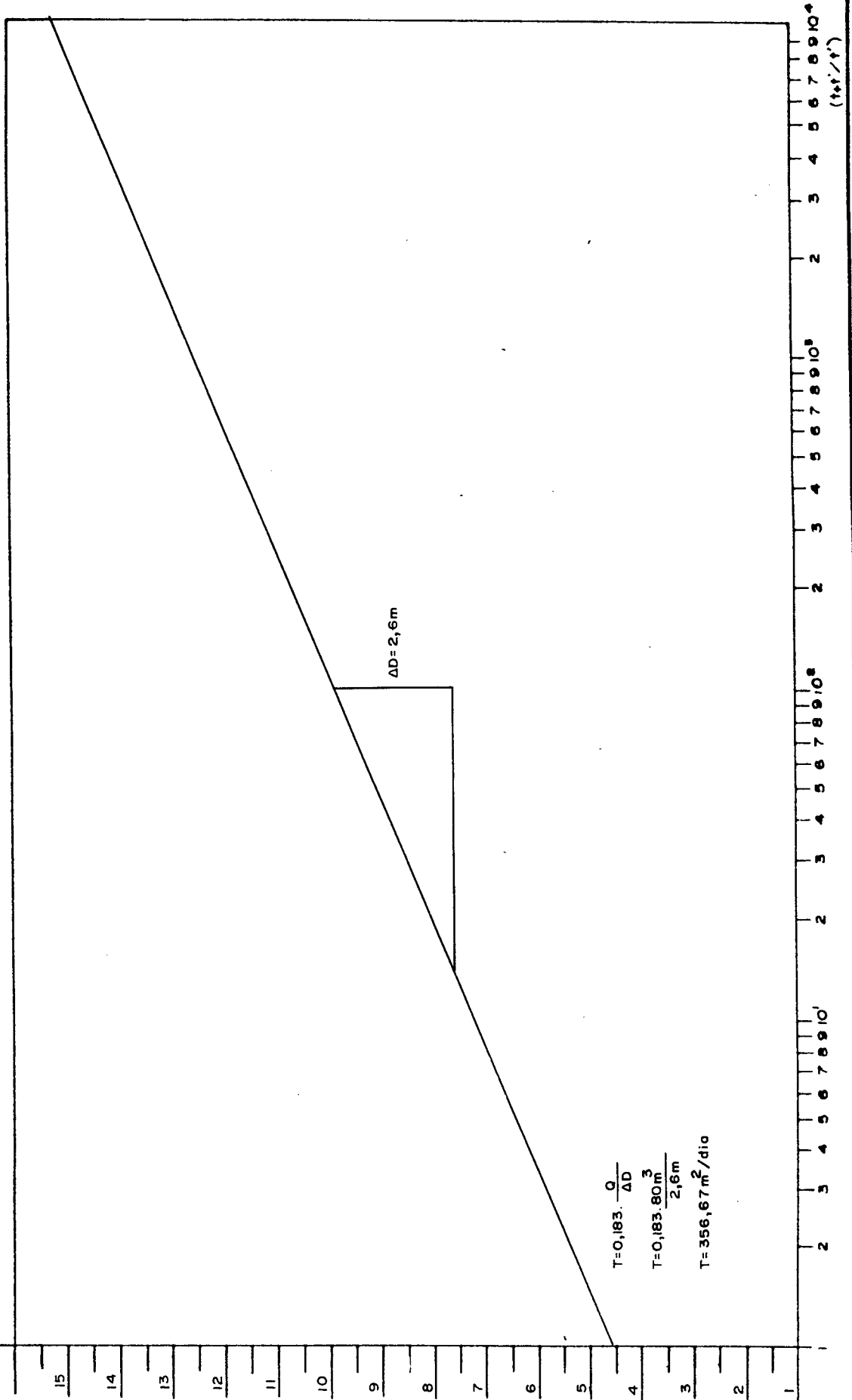


Fig. 19 - Gráfico Tempo x Recuperação de Nível do Poço P3

No tocante aos resultados dos parâmetros hidrodinâmicos do poço localizado na cidade de Maracajá, estes foram determinados pelo autor (figuras 20,21,22 e 23) .

A tabela abaixo reflete as características hidrodinâmicas da unidade aquífera em estudo, com base nos ensaios de bombeamento desenvolvidos nos poços acima citados.

Tabela 11 - Características Hidrodinâmicas da Formação  
Rio Bonito

LOCAL	TRANSMISSIVIDADE	PERMEABILIDADE	COEF.DE ARMAZENAMENTO
IÇARA	439,20 m <sup>2</sup> /dia	1,008 m/dia	7,4 * 10 <sup>-3</sup>
MARACAJA	27,15 m <sup>2</sup> /dia	1,23 m/dia	

Analisando-se os dados acima, pode-se observar que o aquífero possui boa capacidade de ceder água, e os valores de permeabilidade indicam que esta unidade possui uma granulometria média. Com relação ao coeficiente de armazenamento para um aquífero poroso intergranular, o valor atingido por este parâmetro o caracteriza como médio.

Na figura 24 observa-se o gráfico Vazão (m<sup>3</sup>/h) x Descenso (m) . O gráfico mostra que a vazão é diretamente proporcional ao



ENSAIO DE BOMBEAMENTO - DESCENSO - POÇO C1-15C Maracajá

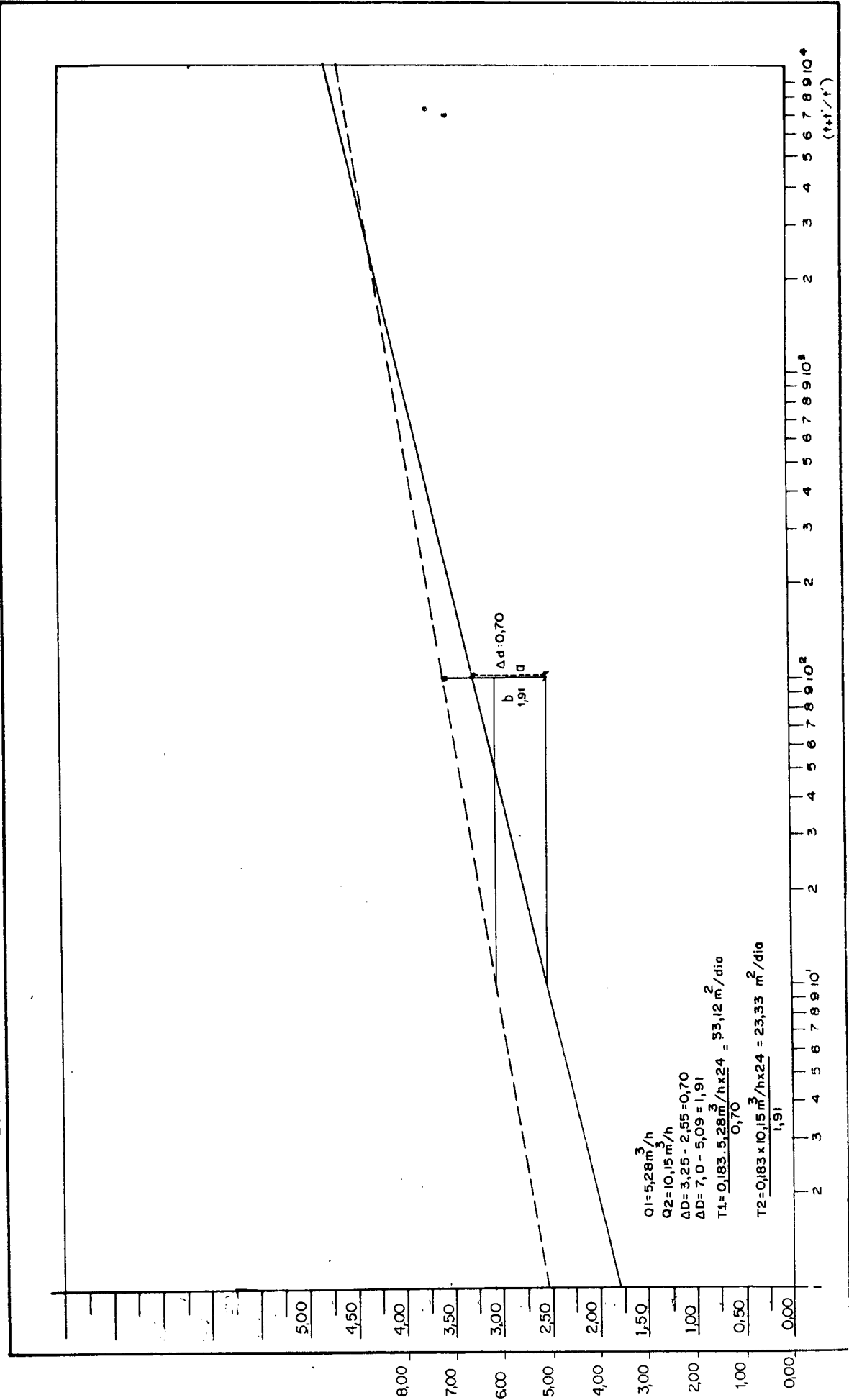


Fig. 20 - Gráfico Tempo x Rebaixamento de Nível do Poço C1-15C  
e 21 Vazão - 5,28 m³/h e 10,15 m³/h

ENSAIO DE BOMBEAMENTO - DESCENSO - POÇO C1-15C Maracajá

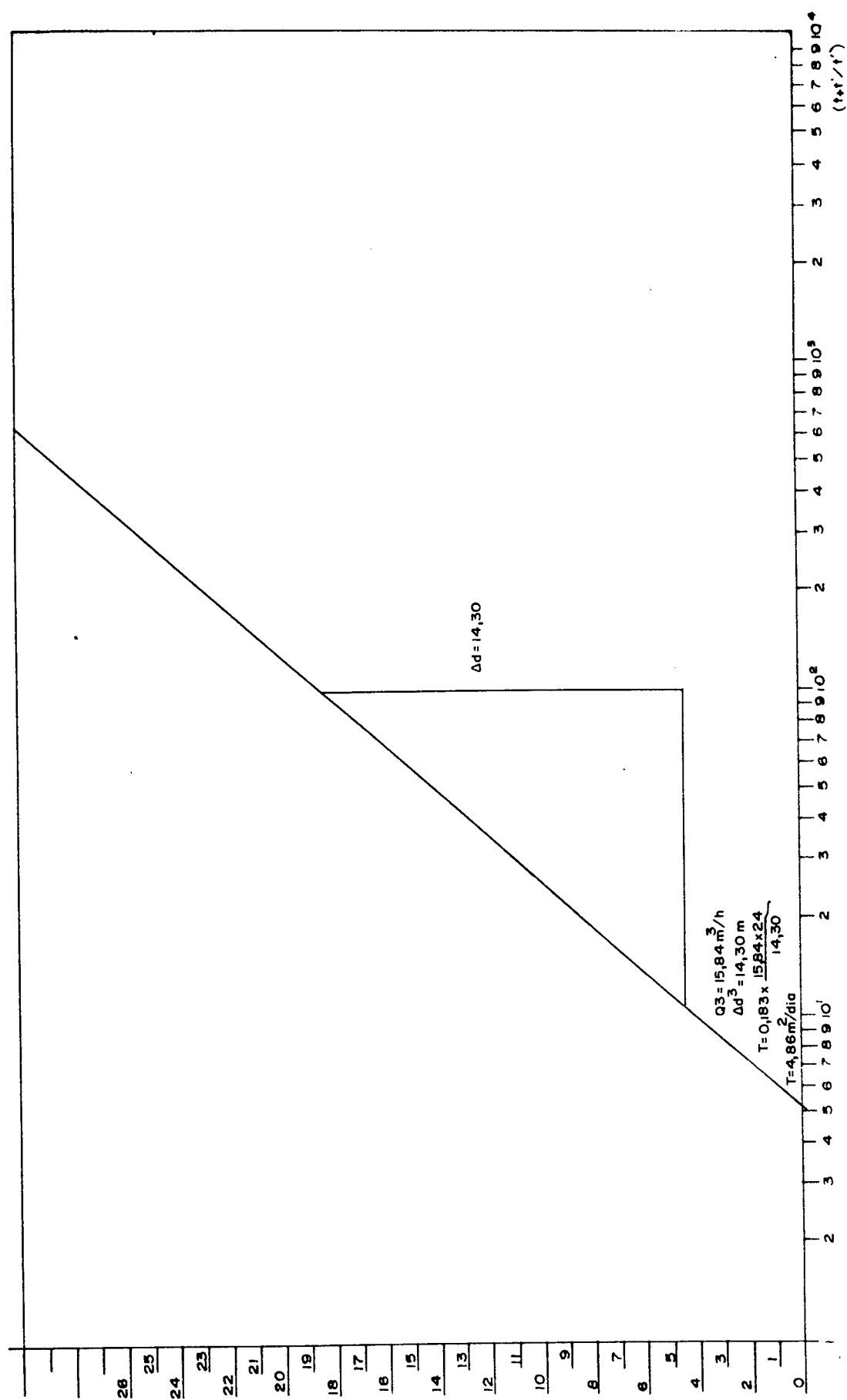


Fig. 22 - Gráfico Tempo x Rebaixamento de Nível do Poço C1-15C  
Vazão - 15,84 m³/h

ENSAIO DE BOMBAMENTO - RECUPERAÇÃO - POÇO C1-15 C Maracajá

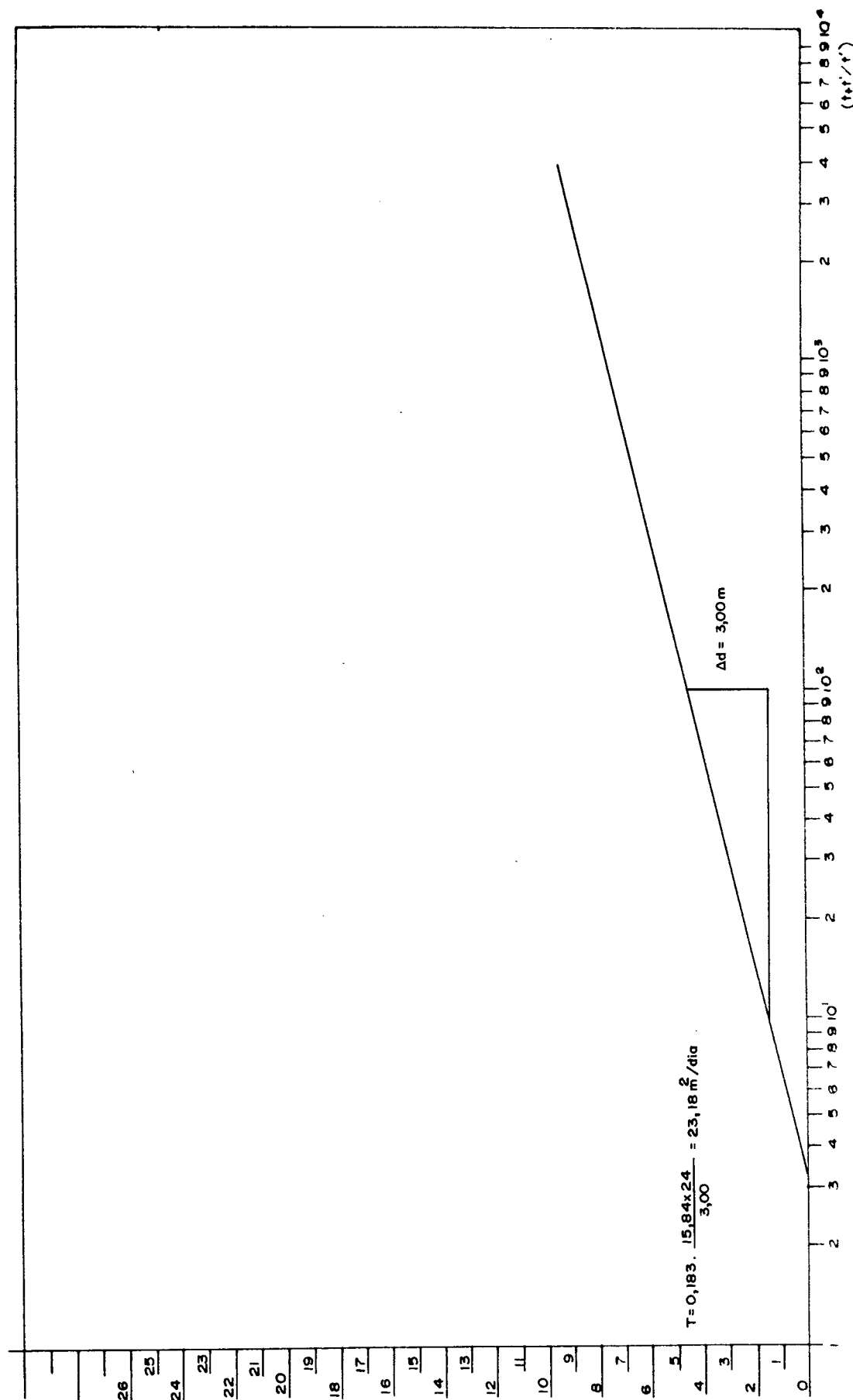


Fig. 23 - Gráfico Tempo x Recuperação de Nível do Poço C1-15C

# POÇO P3 - IÇARA

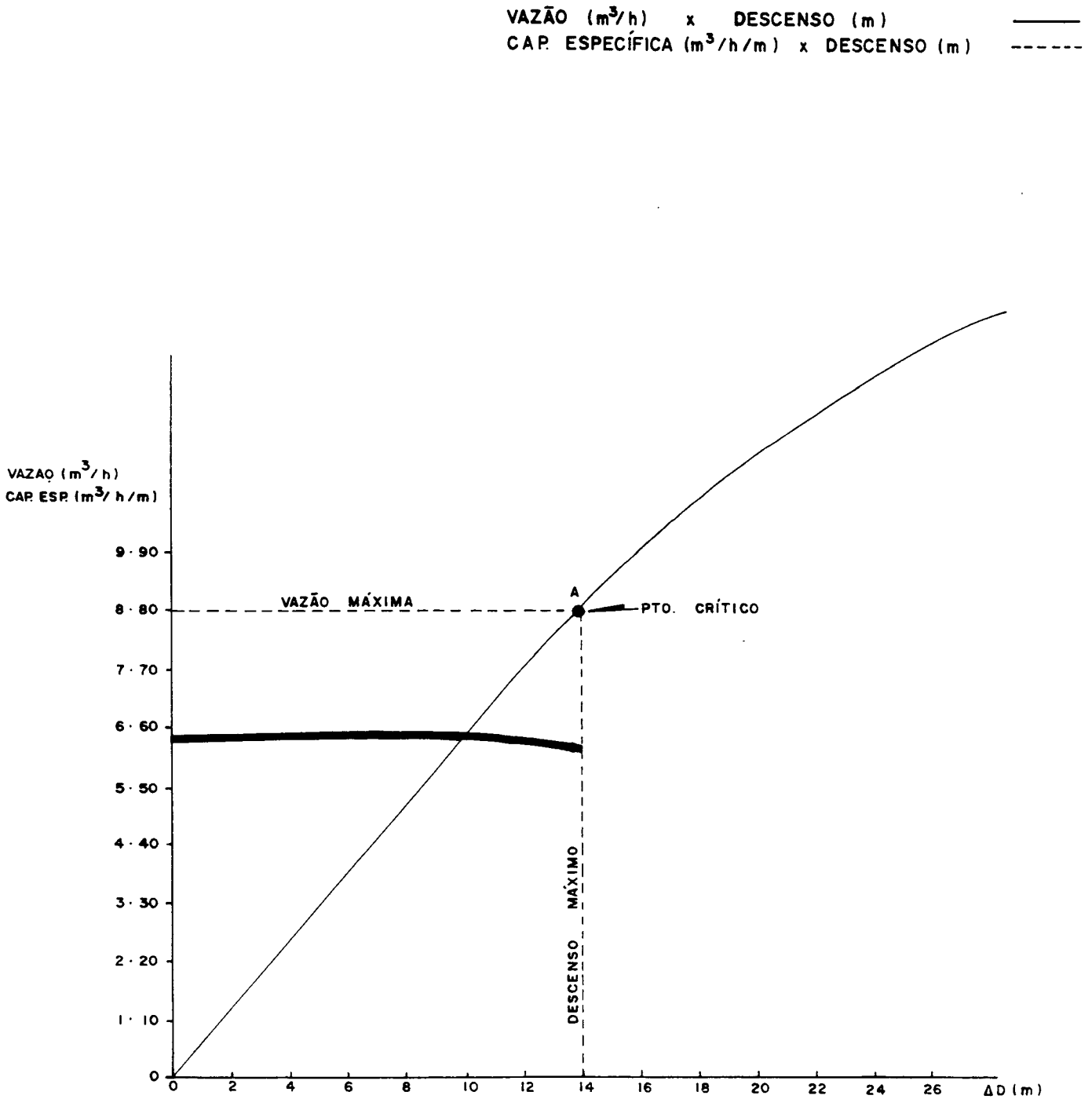


Fig. 24 - Curva Característica do Poço P3  
Vazão ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) x Descenso (m)  
Vazão Específica ( $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ ) x Descenso (m)

descenso e, sua curva característica é uma reta que passa pela origem. Não são representativos os valores encontrados acima do ponto crítico, uma vez que o descenso sobrepassa o teto do aquífero, devido ao efeito drenagem que produz um desvio na curva. O comportamento das curvas deste poço indicam que o aquífero é confinado. A capacidade máxima produtiva é de 80 m<sup>3</sup>/h.

O gráfico Capacidade Específica (m<sup>3</sup> x h/m) x Descenso (m) a reta é paralela ao eixo dos descensos. Segundo MARTINEZ e LOPEZ (1988), é uma curva característica de aquífero confinado.

Na figura 25 se observa que o aquífero apresenta perda de carga não linear. Tal situação pode ser originado por erros na obtenção dos dados do teste de bombeamento e dos descensos, ou pelo fato de que os parâmetros do aquífero variam em função do raio de influência. A capacidade máxima produtiva é de 15 m<sup>3</sup>/h.

Um fator que dificulta a circulação da água pelo interior do sistema são as falhas, intercalações de litologias com diferentes permeabilidades e as intrusões de diabásios, caracterizando desta forma um meio hidraulicamente anisótropo e heterogêneo (figura 26, anexo 3).

As diferentes características litológicas da Formação Rio Bonito imprimem um comportamento hidrodinâmico diferenciado. Em face a estas circunstâncias, achou-se conveniente estudá-la da

# POÇO C1 - MARACAJÁ

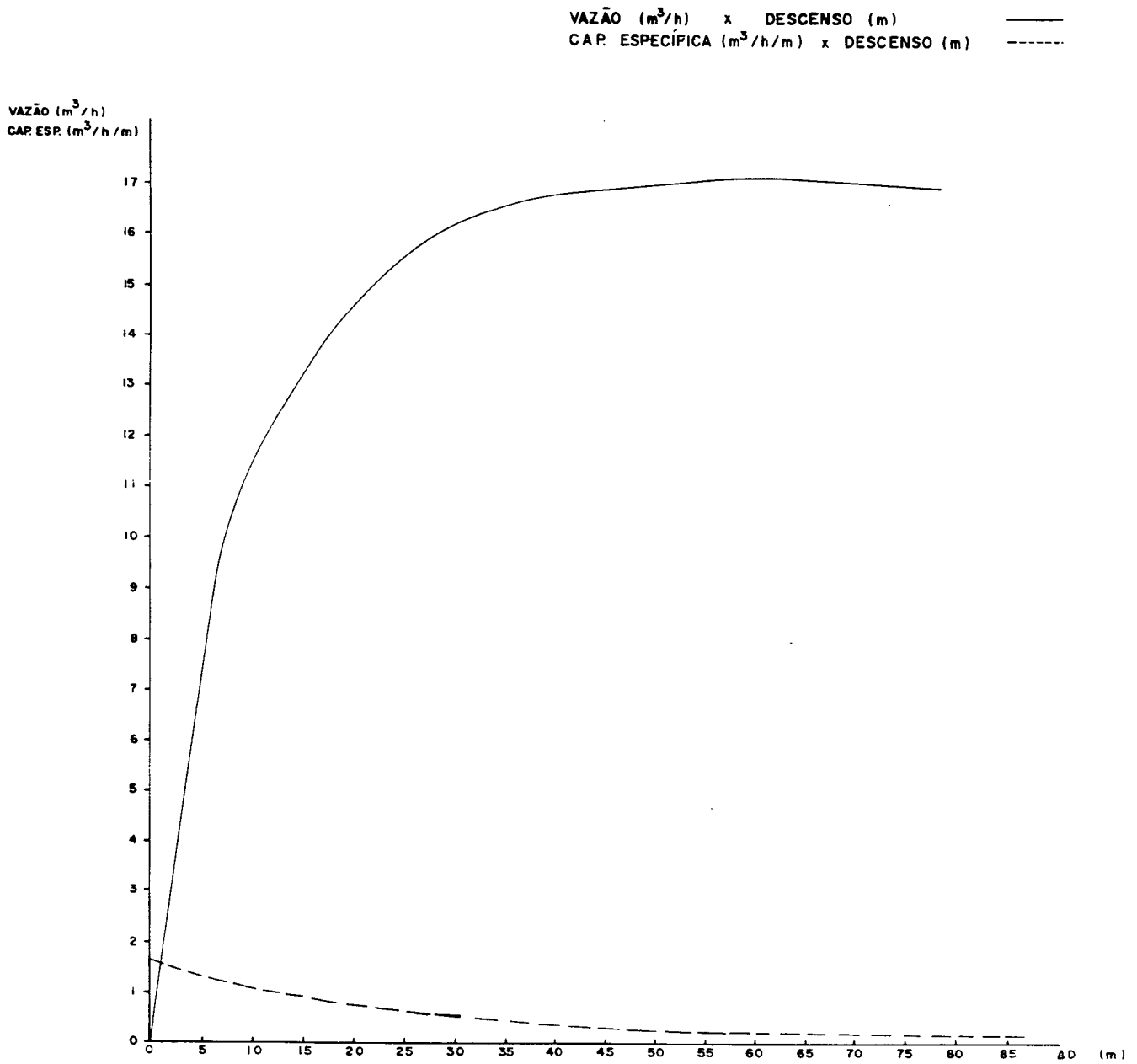


Fig. 25 - Curva Característica do Poço C1-150  
 Vazão ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) x Descenso (m)  
 Vazão Específica ( $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ ) x Descenso (m)

mesma forma como foi estabelecida a Coluna Estratigráfica por SCHNEIDER et alli (1974).

#### 2.2.2. - Membro Siderópolis

Este membro aflora em 84,50 km<sup>2</sup> na parte central da área de estudo. Nele o nível freático está sob a ação da pressão atmosférica (aqüífero livre) e se apresenta de forma ondulada, com inclinações variáveis, dependendo das áreas de recarga, descarga e da permeabilidade que varia com a direção. A presença de níveis de água aflorante em determinadas áreas e seu abaixamento em outras, correspondem as variações do volume de água em armazenamento. O valor médio de 2,43m para a variação do nível estático das águas subterrâneas foi encontrado em 32 (trinta e dois) pontos amostrados durante o ano de 1990, sendo que 84% apresentaram valores iguais ou inferiores a 4,0m. A extensão restante está semi-confinada pela sequência sedimentar ou confinada sob derrames da Formação Serra Geral.

Esta unidade é constituída predominantemente por sedimentos arenosos, seguem-se intercalações de siltitos, argilitos, camadas de carvões e lentes de calcários. A granulometria dos arenitos varia de média a fina.

No que se refere às relações estratigráficas, o estabelecimento de contatos desta unidade assume papel importante, uma vez que a sequência sedimentar (topo e base),

apresenta características hidrogeológicas distintas, impondo um sistema aquífero diferenciado.

Na área de estudo o Membro Siderópolis atinge valores de espessura na ordem de >46,20 a 70m e aumenta a espessura desta unidade em direção a NW da área de estudo, conforme dados de furos de sondagens executados na região.

MACHADO et alli (1984) realizaram estudos hidrogeológicos na região de interesse, utilizando traçadores radioativos, com objetivo de determinar a velocidade e a orientação do fluxo regional das águas subterrâneas, conforme a tabela 12.

Embora os valores obtidos sejam de caráter local, podem ser extrapolados para outros pontos, tendo em vista que as condições geológicas da Formação Rio Bonito são homogêneas em toda a região de estudo.

Com base nos dados da tabela 12 pode-se calcular os seguintes parâmetros:

A lei Darcy (1856), "estabelece que a quantidade de fluxo através do meio poroso é proporcional à perda de carga e inversamente proporcional ao comprimento do caminho do fluxo". Esta lei serve como base para o conhecimento atual do fluxo das águas em regime laminar e pode-se obter os seguintes parâmetros:



$$V = K \cdot i = - K \cdot \frac{dh}{ds}$$

$$V = K \cdot \frac{h}{L}$$

$$i = \frac{h}{L}$$

$$Q = V \cdot A = K \cdot A \cdot \frac{h}{L}$$

$$Q = K \cdot A \cdot i$$

onde:

V = velocidade do fluxo

i = gradiente hidráulico

K = permeabilidade

A = Area

L = longitude

h = nível piezométrico.

Aplicando a lei Darcy aos dados obtidos por Machado et alli (1984) obtemos os seguinte parâmetros:

Ponto 040 - (PF-04-SC)

V = 0,1312 m/dia    i = 0,10    K = 1,31 m/dia    T = 26,24m<sup>2</sup>/dia

Ponto 118 - (PT-04-SC)

$V = 0,0915 \text{ m/dia}$      $i = 0,09$      $K = 1,01 \text{ m/dia}$      $T = 20,2 \text{ m}^2/\text{dia}$

Ponto 063 - (PS-05-SC)

$V = 0,1529 \text{ m/dia}$      $i = 0,007$      $K = 21,84 \text{ m/dia}$      $T = 436,85 \text{ m}^2/\text{dia}$ .

Tabela 12 - Valores de Velocidade, Direção e Sentido de Fluxo da Água Subterrânea no Membro Siderópolis. Machado et alli 1984.

Piezômetro	Posição da Sonda (m)	Velocidade do fluxo da água subterrânea (cm/dia)	Direção e sentido do fluxo a partir norte geográfico sentido horário.
Siderópolis	6,70	15,29	4°
PS-05-SC			
Treviso	9,60	9,15	297°
PT -04-SC			
Forquilha	5,00	13,12	289°
PF-04-SC			

As condições hidrogeológicas locais são bastante

promissoras, tendo em vista que os parâmetros hidrodinâmicos determinados mostraram que esta unidade possui condições favoráveis de armazenar e transmitir volumes consideráveis de água que permitem abastecer localidades e indústrias da região.

#### 2.2.2.1. - Nível Piezométrico

Não houve variação do nível piezométrico entre as medidas executadas por MACHADO et alii (1984) e as medidas efetuadas em 1990.

A configuração das curvas isopiezométricas das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Livre Membro Siderópolis (figura 27, anexo 3) é concordante com a morfologia da superfície. Os fluxos subterrâneos desenvolvem-se em direção ao sistema de drenagem da área de estudo, destacando-se como principais exutórios o rio Mãe Luzia e Sangão.

Os gradientes hidráulicos mostram comportamento mais elevado nas regiões centro e norte variando de  $9 \times 10^{-2}$  m/m a  $4 \times 10^{-2}$  m/m, enquanto ao sul da área o gradiente hidráulico é da ordem de  $5 \times 10^{-2}$  m/m e  $6 \times 10^{-2}$  m/m.

#### 2.2.3. - Membro Paraguaçu

É constituído por rochas de granulometria fina, principalmente por siltitos, e secundariamente argilas,

folhelhos e arenitos finos.

Pelas características litológicas, este membro pode ser definido como um aquítardo, possui água em seu interior porém, transmite muito lentamente.

Com relação a espessura esta unidade apresenta valores que variam de >20,70 a >54,15m. Estes dados foram obtidos através dos furos de sondagens executados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), nos vários projetos de pesquisa por ela executada.

#### 2.2.4. - Membro Triunfo

As propriedades litológicas, estratigráficas, estruturais aliadas a sua geometria, extensão e espessura imprimem esta unidade como o melhor aquífera da Formação Rio Bonito.

Sua extensão territorial abrange a área total de estudo (216,45 km<sup>2</sup>), encontrando-se sotoposta ao Membro Paraguaçu.

A espessura desta unidade atinge valores superiores a 47,90m e ocorre um adelgaçamento em direção a NW da área de estudo.

O Membro Triunfo é constituído predominantemente de arenitos do tipo subarcoseano e arcoseano esbranquiçado.

Siltitos, folhelhos, conglomerados e carvões ocorrem secundariamente. Os arenitos apresentam granulometria média a fina.

Do ponto de vista estratigráfico, a definição dos contatos desta unidade assume grande importância, já que a sequência sedimentar (topo e base) possui, sob o aspecto hidrogeológico, características distintas que imprimiu-lhe um caráter de unidade aquífera confinado.

Sua alimentação é feita em geral pela conexão hidráulica com as rochas sobrepostas. Localmente as fraturas e os planos de falhas que o atingiram podem servir de condutos alimentadores, desde que não estejam preenchidos por materiais impermeáveis.

As características hidrogeológicas desta unidade são muito pouco conhecidas, uma vez que os relatórios técnicos de construção dos poços estão incompletos e não apresentam informações devidas, principalmente acerca das entradas de água.

VASSÃO (1978) determinou para a Formação Rio Bonito na região de São Mateus do Sul a permeabilidade máxima de 200 md (milidarcys) e porosidade de 30 a 35%.

### 2.3. - Formação Palermo

Pelas características litológicas, esta formação inclui-se naquelas rochas de transmissibilidade e armazenamento hidrico baixo, constituindo-se em um aquífero.

A espessura desta unidade litoestratigráfica no Estado de Santa Catarina, segundo dados da PETROBRAS (1969), é em torno de 80 a 100m. A área aflorante desta unidade na região de estudo é 50,302 km<sup>2</sup>, correspondendo a 23,24% do total estudado.

Os estratos são praticamente horizontais e atuam como um nível semi-confinante para a Formação Rio Bonito. Este pacote litológico transmite a água muito lentamente e em razão disso a camada semi-confinada está sendo alimentada com volumes constantes, contribuindo desta forma para a manutenção das potencialidades hídricas daquele aquífero.

Localmente nesta formação ocorrem níveis arenosos, possibilitando a captação de água subterrânea através de poços escavados.

### 2.4. - Formação Irati

A Formação Irati aflora na área de estudo em cerca de 25,30 km<sup>2</sup>, correspondente a 11,69% do total pesquisado.

Esta unidade, pelas suas características litológicas, apresenta-se com rochas de transmissibilidade e armazenamento hídrico insignificantes, caracterizando-se como um aquítardo.

#### 2.5. - Formação Serra Alta

As características litológicas também conferem a esta unidade um comportamento hidrogeológico similar à Formação Palermo, constituindo-se em um aquítardo.

Sua área de ocorrência é restrita, não apresentando desta forma, importância na determinação do comportamento hidrogeológico da Formação Rio Bonito. A parte aflorante desta unidade na área de estudo é 6,432 km<sup>2</sup>, equivalente a 2,97% do total da região pesquisada.

#### 2.6. - Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral na área de estudo ocorre principalmente na forma de sill. Esta unidade litológica possui pouca importância em termos de aquífero, pelo fato de que as fraturas são pouco desenvolvidas e de pequena extensão. Conseqüentemente, é pequeno o volume nela armazenado e as vazões que se podem obter são mínimas. A parte aflorante na região de estudo é, 43,73 km<sup>2</sup>, correspondendo a 20,20% da área pesquisada.

Uma característica hidrogeológica importante foi

observada nas minas de carvão, pois nas interfácies da rocha intrusiva com as rochas encaixantes, a água percola com maior facilidade, constituindo-se num dreno vertical descendente, facilitando desta forma a alimentação das rochas encaixantes e das camadas aquíferas inferiores.

### 2.7. - Sedimentos Quaternários

Estas litologias ocorrem principalmente ao longo do Rio Mãe Luzia, na forma de pequenos aluviões. A sua importância é praticamente nula em face de sua pequena extensão e espessura.

### 3. - Balanço Hídrico

O estudo do balanço hídrico na área em questão tem como objetivo estimar o volume de água precipitado, evapotranspiração, infiltração e o volume de água contido na Formação Rio Bonito.

Para execução deste estudo foi utilizada a série de dados climáticos de precipitação e temperatura média anual do período de 1927 a 1990.

O volume d'água de chuva precipitado na área de interesse foi calculado através da seguinte maneira:

$$V_p = P.A$$



onde:

P = Precipitação Média Anual (mm);

A = Area (m<sup>2</sup>).

V<sub>P</sub> = 1536,6 × 216,45 × 10 m<sup>3</sup>

V<sub>P</sub> = 332 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> / ano.

A evapotranspiração foi calculado utilizando-se a fórmula de TURC (1964):

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + P^2 / L^2}}$$

onde:

ETR = Evapotranspiração Real em mm/ano;

P = Precipitação em mm/ano;

t = Temperatura média anual em °C;

L = 300 + 25t + 0,05t<sup>2</sup>

L = 300 + 25 × 19°,10 + 0,05 × 19°,10<sup>2</sup>

L = 795,74

$$ETR = \frac{1536,6}{\sqrt{0,9 + 1536,6^2 / 795,74^2}}$$

$$ETR = 714 \text{ mm/ano}$$

Para o cálculo do balanço hídrico global, utilizou-se a seguinte equação:

$$P = E + R + I$$

onde:

P = Precipitação Média Anual (mm);

E = Evapotranspiração Real (mm);

R = Escoamento Superficial (mm).

$$P = 1536,6 \text{ mm/ano} \quad R = 58 \text{ mm/ano} \quad E = 714 \text{ mm/ano}$$

$$I = P - E + R$$

$$I = 1536,6 \text{ mm/ano} - 58 \text{ mm/ano} + 714 \text{ mm/ano}$$

$$I = 1536,6 \text{ mm/ano} - 802 \text{ mm/ano}$$

$$I = 764,6 \text{ mm/ano}$$

A vazão média do rio Mãe Luzia obtida no período de 1943-1966 foi de  $14 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Para o cálculo da vazão específica:

$$q = Q \text{ m}^3/\text{s}$$

--

$$A \text{ km}^2$$

onde:

$Q$  = vazão  $m^3/s$

$A$  = Área  $km^2$

$q = 14 \text{ } m^3/s$

--

523  $km^2$

$q = 26,768 \text{ } l/s/km^2$

$Q = 26,768 \times 216,45 \times 10^6 m^3$

Os volumes anuais obtidos na área de estudo foram obtidos da seguinte forma:

$P = 1536,6 \text{ mm} \times 216,45 \times 10^6 m^2 = 333 \times 10^6 m^3 / \text{ano};$

$E = 714 \text{ mm} \times 216,45 \times 10^6 m^2 = 155 \times 10^6 m^3 / \text{ano};$

$I = 764,6 \text{ mm} \times 216,45 \times 10^6 m^2 = 164 \times 10^6 m^3 / \text{ano}$

$R = 58 \text{ mm} \times 216,45 \times 10^6 m^2 = 14 \times 10^6 m^3 / \text{ano};$

Foram considerados para o cálculo da reserva mínima, média e máxima de água subterrânea, contida no Membro Siderópolis e no Membro Triunfo da Formação Rio Bonito, os seguintes parâmetros:

Espessura Média - 84,23 m ;

Porosidade Efetiva - 30% ;

Nível Freático Mínimo - 1,00 m;

Nível Freático Médio - 10,00 m;

Nível Freático Máximo - 30,00 m.

Extensão -  $84,5 \times 10^6 \text{ m}^2$  - Membro Siderópolis

Reserva Máxima -  $84,5 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 83,23 \text{ m} \times 0,30 = 21 \times 10^8 \text{ m}^3$

Reserva Média -  $84,5 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 74,23 \text{ m} \times 0,30 = 19 \times 10^8 \text{ m}^3$

Reserva Mínima -  $84,5 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 54,23 \text{ m} \times 0,30 = 14 \times 10^8 \text{ m}^3$

Os 62 (sessenta e dois) poços da região produzem anualmente:

$$V_{pr} = 14 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} \times 365 \text{ (ano)} \times 62 = 7,6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}.$$

Considerando que a região apresenta graves problemas de poluição a produção de água subterrânea estará restrita ao Membro Triunfo, com a seguinte reserva:

$$\text{Reserva Média} - 194 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 26,72 \text{ m} \times 0,30 = 1555 \times 10^6 \text{ m}^3$$

A água subterrânea na região sul poderá atender o interesse da população e da indústria local em termos de qualidade e volume. Contudo, deverá haver um controle efetivo por parte das instituições públicas no sentido de preservar a qualidade do manancial hídrico, exercer fiscalização durante a construção dos poços, bem como estabelecer a capacidade produtiva.

## CAPÍTULO V

### HIDROQUÍMICA DA FORMAÇÃO RIO BONITO

## 1. - Generalidades

A água subterrânea constitui-se em um importante recurso hídrico, podendo ser explotada normalmente em seu estado natural e utilizada para os mais diversos fins. No entanto, suas características físico-químicas podem modificar-se pela ação antrópica, principalmente pelo mal uso do solo e/ou pelas atividades industriais nocivas ao ecossistema. Adicionado a estes aspectos torna-se relevante portanto, uma caracterização da origem e dos processos geológicos evolutivos na formação do carvão e suas paragêneses, na medida em que algumas destas podem vir a tornar-se reativas quando alterados os seus estados de equilíbrio químico.

Os depósitos de rejeitos sólidos, produto da lavra e beneficiamento dos carvões, dispostos em locais inadequados e de forma aleatória, podem causar a degradação de extensas áreas, principalmente através da percolação e infiltração das águas de precipitação e mesmo superficiais. Estes mecanismos podem ocasionar acidificação dos recursos hídricos subterrâneos e solubilizar os metais pesados presentes nas camadas carbonosas, tornando-as impróprias ao consumo humano.

Não faz parte deste trabalho entrar no mérito do processo evolutivo da degradação da qualidade ambiental da região, e nem tão pouco qualificar e quantificar os rejeitos sólidos provenientes da mineração ou apresentar os mecanismos a serem

adotados para preservação da qualidade do meio ambiente. Contudo, para compreender a qualidade das águas subterrâneas, as suas relações e a evolução hidroquímica, se faz necessário revisar os parâmetros que influem na qualidade deste meio, e os mecanismos pelos quais os elementos químicos em solução ou em suspensão são incorporados ao fluxo subterrâneo.

## 2. - Origem, Formação e Constituição do Carvão.

O carvão é uma rocha sedimentar formada pela decomposição parcial de restos vegetais terrestres em ambiente pantanoso, sob condições anaeróbicas, sendo necessárias dezenas de milhões de anos para a sua formação.

O carvão mineral é formado em um ambiente fracamente redutor e o material formador desta rocha carrega consigo vários minerais e praticamente todos os elementos da tabela periódica.

Os principais constituintes do material vegetal são a celulose e a lignina associados com outros componentes menores, como proteínas, óleos essenciais, ácidos orgânicos e seus sais.

A transformação da matéria orgânica vegetal em carvão envolve dois estágios. O primeiro, de natureza bioquímica, que consiste essencialmente na conversão da matéria orgânica vegetal em turfa, durante o qual os microrganismos estão ativos na reconstituição da matéria orgânica. Este estágio termina quando

as condições tornam-se inadequadas para atividade bacteriana, seja pelo enterramento sob sedimentos inorgânicos, seja pelo desenvolvimento de condições tóxicas dentro da matéria orgânica. O outro estágio é ocasionado pelos processos de alteração progressiva, gerado pela ação da temperatura e da pressão do pacote sedimentar sobre a camada orgânica, criando diferentes tipos de carvões, linhito, carvão betuminoso e antracito.

A aparência lamelar do carvão deve-se aos constituintes individuais microscópicos, denominados de macerais. Os macerais são classificados em três grupos denominados de vitrinita, exinita e inertinita. Os dois primeiros são denominados de macerais reativos, apresentando uma relação oxigênio/hidrogênio mais baixa. Este fator é de grande importância para a carbonização industrial.

Macroscopicamente são reconhecidos principalmente o vitrênio, que compõe leitos finos na camada de carvão, constituindo a parte lisa e brilhante da mesma; o clarênio é semibrilhante e mostra-se finamente estriado; o durênio tem aspecto opaco e superfície rugosa, aparecendo em leitos mais duros; e finalmente o fusênio, apresentando-se em leitos foscos, fibrosos e friáveis, sendo o único que suja ao contato com os dedos.

Além destes constituintes, o carvão também contém material mineral, sendo mais comuns os minerais argilosos,



sulfetos, carbonatos e quartzo.

## 2.1. - Minerais Sulfetados

Associada às camadas de carvões observa-se a presença de sulfetos metálicos que se formam como minerais sedimentários em ambientes redutores, o que normalmente significa ambientes onde há abundância de matéria orgânica. O sulfeto mais comum é o bissulfeto de ferro sob a forma de pirita ou marcassita, cuja fórmula química é  $\text{FeS}_2$ . Estes minerais em contato com o ar e a água, liberam para ao meio ambiente gases sulfurosos ( $\text{SO}_2$ ), compostos de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{FeO}$ ;  $\text{FeCO}_3$ ) e ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), influenciando diretamente na qualidade dos recursos hídricos.

A fonte de enxofre pode ser tanto externa como interna. A origem externa está ligada a produção de grandes quantidades de  $\text{H}_2\text{S}$  em ambientes sedimentares ricos em matéria orgânica de lagos estagnados e bacias marítimas isoladas. Uma outra origem é o fato do sulfeto e o enxofre nativo serem formados pela redução do sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Contudo, a redução é muito lenta, a não ser na presença de bactérias, de maneira que o sulfato possa ocorrer pelo menos temporariamente em soluções redutoras. A fonte interna do enxofre está relacionada com a origem vulcânica ou como produto de deposição de soluções hidrotermicas.

Partindo da premissa de que a fonte de enxofre tenha sido

externa, a pirita e a marcassita podem ter as seguintes gêneses:

- O gás sulfídrico proveniente dos processos de formação da turfa precipitaria o bissulfeto de ferro ( $\text{FeS}_2$ ) pela reação das águas percolantes contendo carbonato de ferro  $\text{Fe}(\text{CO}_3)$ , segundo THIESSEN (1945);

- A redução do sulfato para sulfeto ocorre quando o sulfato entra em contato com a matéria orgânica. KRAUSKOFF (1972).

## 2.2. - Metais Pesados

São geralmente classificados sob o vocábulo metais pesados, os produtos minerais que em presença de hidrogênio sulfurado precipitam sob a forma de sulfetos insolúveis.

A presença de elementos químicos como: V, U, As, Sb, Zn, Cu, Pb, Cd, Hg, Ni, Co, e metais do grupo da platina sugere que estes acumularam-se pela atividade vital dos organismos representado pelo material betuminoso. Pela natureza calcófila de muitos destes elementos, parece que a explicação mais razoável é a precipitação sob a forma de sulfetos. MASON (1971).

## 3. - Rejeitos Provenientes da Mineração

O rejeito da mineração do carvão é constituído de uma

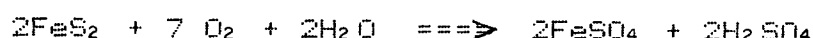
associação de rochas sedimentares (arenito, folhelhos, argilitos e carvões) e minerais sulfetados.

Os depósitos de rejeitos foram dispostos sem qualquer critério, no sentido de evitar as lixiviações dos elementos poluentes e dos processos erosivos. Os rejeitos provenientes da mineração eram depositados próximos das usinas de beneficiamento, baixios topográficos, zonas alagadiças, ao longo das rodovias e nas áreas de recarga de água subterrânea. Esta situação contribui de uma forma acentuada na transferência de elementos poluentes ao manancial subterrâneo.

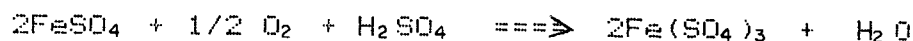
### 3.1. - Alteração da Pirita

A pirita é um bissulfeto de ferro constituída por 53,4 % de enxofre e 46,6 % de ferro.

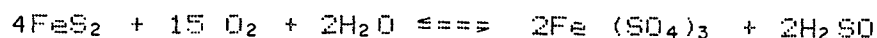
Segundo Gothe (1989) este mineral exposto ao ar, água e bactérias, origina um processo crescente de formação de sulfato ferroso e mais ácido sulfúrico de acordo com as seguintes equações:



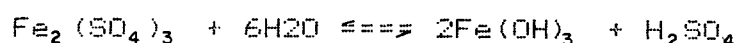
O sulfato ferroso em presença do ácido sulfúrico é muito resistente à oxidação, a ação dissolvente da água extrai parte do ferro e do sulfeto. Depois de um certo tempo, em razão do oxigênio ( $\text{O}_2$ ) atmosférico obtém-se:



Quando as reações acima ocorrem simultaneamente, temos:



Se o ácido sulfúrico diluir-se pelas correntes receptoras o sulfato férrico se hidroliza como segue:



A atividade bacteriológica desempenha um papel importante na formação do ácido sulfúrico. As bactérias sulfo-oxidantes (thiobacillus e thiooxidans) são bactérias autróficas e utilizam o enxofre inorgânico, tiosulfatos ou tetradionatos como alimento, produzindo sulfatos e podendo eventualmente formar ácido sulfúrico. Confirma-se assim, a formação de águas ácidas nas minas, tratando-se portanto, de uma reação química e biológica que pode ocorrer em qualquer local, onde o enxofre oxidável se põe em contato com a água e o ar.

Das reações acima, observa-se uma intensa formação de sulfatos, ácido sulfúrico, hidróxido de ferro e a liberação de uma gama de metais pesados que encontravam-se associados com a matéria carbonosa e a pirita.

A formação do ácido sulfúrico diminui o pH e aumenta a acidez, conseqüentemente os recursos hídricos mantêm dissolvidos

grande parte dos produtos da lixiviação dos rejeitos carbonosos, prejudicando a qualidade ambiental.

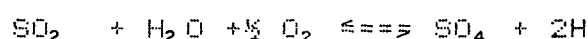
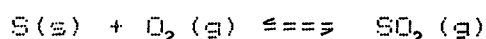
#### 4. - Qualidade da Água da Chuva e do Ar

A qualidade química das águas das chuvas está diretamente ligada a qualidade do ar, que contém diversos gases dissolvidos além de determinados tipos de ions que se formaram como consequência de diversos fenômenos. No caso específico da região carbonífera, os gases expelidos para atmosfera do tipo  $H_2S$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$  e vapor  $H_2O$ , derivados da combustão espontânea dos rejeitos itosos em face da oxidação pelo ar. Além destes, as coquerias expellem para a atmosfera vários tipos de materiais particulados, como as poeiras provenientes do desmonte por explosivos das instalações de britagem e das pilhas de estocagem, assim como o tráfego de caminhões que transportam carvão também contribuem para o aumento da poluição do ar na região.

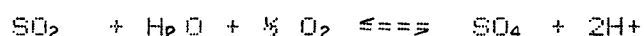
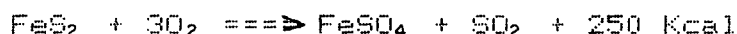
Não foram obtidas análises químicas das águas das chuvas da região contudo é possível concluir que a sua qualidade deixa a desejar, pelo fato da grande carga de elementos poluentes misturados na atmosfera, alguns altamente solúveis e muito venenosos. A solubilidade se faz de acordo com a lei de HENRY-DALTON: "Em uma mistura de gases a solubilidade se realiza para cada gás de acordo com a lei de HENRY, como se os outros gases não existissem."

O pH das águas das chuvas em regiões industrializadas é inferior a 5,7, frequentemente entre 3 e 4. Isto é devido ao enxofre expelido pelas fábricas e outros agentes poluidores.

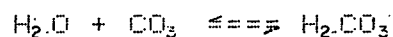
Com base nesta tabela pode ocorrer na atmosfera da região carbonífera uma série de reações químicas, entre as quais destacam-se:



A oxidação dos depósitos dos rejeitos piritosos pode gerar o seguinte produto:



Além deste gás existem outros gases na atmosfera como O, N, CO, que tornam a água da chuva mais ácida. Como exemplo a reação abaixo:



A tabela 13 mostra a qualidade do ar na região de estudo no ano de 1982 (medições realizadas pela Fundação de Amparo a Tecnologia e Meio Ambiente (FATMA)).

Tabela 13 - Qualidade do Ar na Região Carbonífera

LOCAL	MATERIAL PARTICULADO $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SO <sub>2</sub> $\mu\text{g}/\text{m}^3$	DATA
Criciúma (CENTRO)	232	133	20.05
" (B.Operário)	103	103	17.03
" (Prox.Mina)	187	158	16.03
(Área Rejeito)	50	201	23.03
Siderópolis (centro)	70	299	29.03
" (Bairro Operário)	448	276	01.04
Içara	1310	413	12.04

5.- Características Físico - Químicas da Água Subterrânea  
Contida no Membro Siderópolis

### 5.1.- Amostragem - 1984 e 1990

O estudo hidroquímico tem como objetivo qualificar física e quimicamente as águas subterrâneas desta unidade, que se constitui numa importante fração dos recursos hídricos disponíveis na região carbonífera. Entretanto, a qualidade desta água está sendo modificada ao longo das últimas décadas pelas atividades de mineração do carvão.

A água superficial que se infiltra na zona saturada sofre reações importantes, tais como: reação de troca iônica, oxido-redução e complexação. Contudo, constata-se que os componentes químicos do carvão atingem a água subterrânea a ponto de modificar as características físico-químicas, tornando-as inadequadas para o consumo humano, para utilização na irrigação, indústrias e para a vida aquática.

A baixa concentração do íon bicarbonato e a não presença do carbonato, acarretam uma desproporcionalidade no somatório dos cátions em relação ao somatório dos ânions, conseqüentemente os resultados estarão sempre fora dos limites estabelecidos, não permitindo desta forma considerar a análise como correta. Além do que pode ocorrer a presença de outros íons em concentrações importantes que não foram considerados nas análises, por isto achou-se conveniente que este tipo de resultado tenha um caráter apenas indicativo e que novas análises químicas devam ser



executadas para observação do avanço do grau de deterioração da água subterrânea da região.

Os resultados analíticos da água subterrânea obtidos nos anos de 1984 e 1990, permitiram avaliar as características e as variações hidroquímicas da água subterrânea contida no Membro Siderópolis, conforme expresso nos parâmetros abaixo relatados.

pH - expressa a intensidade da condição ácida ou básica de uma solução. Este parâmetro expressa a concentração de ions de hidrogênio. Nas águas subterrâneas varia entre 6,5 a 8,0 e, mais raramente entre 5,5 a 8,5. Em casos excepcionais pode variar de 3 a 11.

O pH - das águas em estudo varia de 3,1 a 7,1, portanto, de ácidas a neutras, sendo a média de 4,8 e 89,5% do total amostrado apresentam caráter ácido, enquanto, no ano de 1990 as águas subterrâneas, os valores variam entre 2,7 e 6,4, sendo que em 54% das estações amostradas o pH ficou compreendido entre 2,5 a 4,9. A média é de 4,5. A presença de metais alcalinos e alcalinos terrosos no pacote rochoso drenado pelas águas superficiais podem elevar o pH das águas subterrâneas.

A condutividade elétrica varia de 68 a 4.902  $\mu\text{mho/cm}$ , cuja média é de 686,84  $\mu\text{mho/cm}$ , com 52% dos valores iguais ou inferiores a 200  $\mu\text{mho/cm}$  e no ano de 1990 os valores encontrados para a condutividade ficaram entre 23 e 250  $\text{mho/cm}$ , sendo a

média de 104,54  $\mu\text{mho/cm}$ .

Resíduo Seco - é o peso de material resultante da evaporação de 1 litro de água.

Resíduo Total - mede o total de substâncias dissolvidas na água, sejam ou não voláteis.

O resíduo seco apresenta uma variação de 45,2 a 5879,2 mg/l, com um valor médio de 802,63 mg/l, sendo que 55% das amostras tem valores iguais ou menores que 100 mg/l e para o ano de 1990 os resultados obtidos de resíduo seco ficaram compreendidos entre 4,00 e 4700 mg/l, com média de 280,08 mg/l.

No ano de 1984 foi realizado um estudo da correlação através da regressão linear entre a condutividade elétrica e o resíduo seco, pois a condutividade indica igualmente com relativa precisão a concentração de sólidos dissolvidos.

Os resultados indicam que a regressão linear entre a condutividade (CE) e o resíduo seco a 180°C (RS) revela uma correlação de 91% para a seguinte equação:  $C.E = 20,51 + 0,824 R.S.$ , o que mostra que existe uma boa relação entre a condutividade e resíduo seco.

Dureza - a dureza é um termo que se refere a um efeito causado pelos íons de cálcio, magnésio, ferro, alumínio, estrôncio, bário e manganês. Somente os dois primeiros ( $\text{Ca}^{++}$  e

Mg++) são importantes em casos normais.

Dureza Total - totalidade de sais de cálcio e de magnésio dissolvidos em água, expressada em carbonato de cálcio.

Para a classificação das águas subterrâneas, quanto a dureza, foi adotada a de KLUT, OLSZEWSKI (1965). In: MACHADO et alli (1984).

Tabela 14 - Classificação das Águas Subterrâneas quanto a Dureza. Segundo Klut Olszewski

Dureza	até 70F	água muito mole
Dureza	de 7 a 120F	água mole
Dureza	de 120 a 200F	água algo dura
Dureza	> 200F	água muito dura

A dureza média encontrada nas águas subterrâneas coletadas no ano de 1984 foi de 15,39F, sendo que 70% das águas foram classificadas como água mole, apenas 18% como água muito dura, 6% como água mole e 6% como água algo dura.

Acidez - é a capacidade de uma água neutralizar bases. Águas com altas concentrações de acidez são corrosivas a metais, concreto e organismos vivos. SAWYER e MACARTY (1967).

A acidez das águas da região de estudo, no ano de 1984 varia de 0,00 a 1740 mg  $\text{CaCO}_3$ /l e valor médio de 214,25 mg  $\text{CaCO}_3$ /l, sendo que 81,2% situam-se abaixo da média estabelecida anteriormente, para o ano de 1990 os valores de acidez encontrados nas águas variam entre 2,93 e 92,7 mg  $\text{CaCO}_3$ /l, sendo que 79% ficaram compreendidos entre 10 e 19,9 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  e a média de 16,25.

Alcalinidade - é a capacidade de uma água neutralizar ácidos. Usualmente é expressa em ppm de  $\text{CaCO}_3$  ou meq./l.

A alcalinidade no ano de 1984 na área foi pouco expressiva, varia de 0,00 a 118 mg  $\text{CaCO}_3$ /l, média é de 9,83 mg de  $\text{CaCO}_3$ /l, enquanto, no ano de 1990 alcalinidade varia de 0,00 a 33 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ , média de 7,81 mg  $\text{CaCO}_3$ /l.

No ano de 1984 o ânion predominante nas águas subterrâneas do Membro Siderópolis foi o íon sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), variando de 0,02 a 49,13 meq/l, com uma média de 6,04 meq/l, seguido pelo íon cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), que varia de 0,12 a 0,70 meq/l com 0,37 meq/l de média e por último íon bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), cuja concentração variou de 0,00 a 1,48 meq/l com média de 0,31 meq./l; quanto aos cations o íon cálcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) predomina, com 1,91 meq/l de média,

variando de 0,05 a 11,37 meq/l, segue o íon magnésio ( $Mg^{+2}$ ), que varia de 0,09 a 10,51 meq/l cuja média obtida foi de 1,20 meq/l e finalmente o íon sódio ( $Na^{+}$ ), variando de 0,09 a 3,08 e média de 0,52 meq/l .

Dos resultados analíticos obtidos na amostragem em 1990 obteve-se o seguinte quadro:

Nos pontos amostrados o íon cloreto ( $Cl^{-}$ ) apresenta variação na concentração entre 0,07 e 2,12 meq/l, com média de 0,42 meq/l. A origem do íon cloreto ( $Cl^{-}$ ) nas águas subterrâneas na área de estudo deve-se a dois fatores principais:

- a baixa concentração deste íon nas águas de chuva que precipitam na área de estudo, pelo fato de que quanto mais afastado da região litorânea menor é a concentração do íon cloreto;

- os baixos teores de cloreto nas rochas sedimentares.

O íon bicarbonato ( $HCO_3^{-}$ ) apresenta valores de concentração muito baixa, variando de 0 a 0,66 meq/l. A média de 0,14 meq/l. Esta baixa concentração está diretamente relacionada com os baixos valores de pH encontrado nas águas subterrâneas.

Os valores de concentração do íon sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) varia entre 0,07 e 22,39 meq/l e a média de 1,37 meq/l. As extensas áreas de depósitos de rejeitos carbonosos, são as principais

fontes de sulfato.

Os teores de cálcio variam de 0,02 a 3,86 meq/l. A média de 0,49 meq/l.

A concentração de magnésio varia de 0,06 a 0,82 meq/l, cuja a média foi de 0,43 meq/l.

Pela similaridade química do íon sódio ( $\text{Na}^+$ ) e do íon potássio ( $\text{K}^+$ ), a origem destes elementos será apresentada em conjunto. O enriquecimento das águas nestes íons, está relacionado com a composição mineralógica dos sedimentos e a lixiviação daqueles elementos, devido principalmente aos baixos valores de pH das águas infiltrantes.

O íon  $\text{Na}^+$  na água subterrânea contida no Membro Siderópolis, apresenta a seguinte variação mínimo de 0,11 máximo de 6,00 meq/l e média de 2,17 meq/l. Para o íon  $\text{K}^+$  a média obtida foi de ,60 meq/l, variando de 0,01 a 2,68 meq/l .

Comparando-se os teores iônicos médios observa-se que os valores decrescem na seguinte ordem:

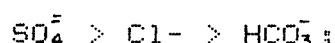
ânions

$\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$

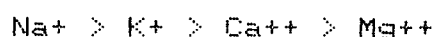
Cations

$\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+$

Dos resultados obtidos em 1990 observa-se que entre os ânions os valores de concentração decrescem na seguinte ordem:



Com relação aos cátions observa-se a seguinte ordem:



Dos resultados das análises químicas das águas subterrâneas contidas no Membro Siderópolis, observa-se acentuada heterogeneidade na composição química como decorrência da qualidade físico-química das águas infiltrantes.

#### 5.1.1 - Classificação das Águas

Com o objetivo de conhecer as características químicas e poder comparar os diversos tipos de águas, as 43 (quarenta e tres) amostras (19 - 1984, 24 -1990) foram lançadas no Diagrama de Classificação de PIPER e de CHTCHTOUKAREW-SLAVIANOV (figuras 28,29,30,31,32,33).

Para as amostras de água analisadas no ano de 1984 pode-se observar na tabela 15 que há um predomínio de 15,78% das águas Sulfatada Magnesiana, Cloretada Sódica Magnesiana e Cloretada Sódica e, em menor percentual as águas Sulfatada Sódica Cálcica, Sulfatada Cálcica, Sulfatada Bicarbonatada Cálcica Magnesiana, Cloretada Sulfatada Sódica, Cloretada Bicarbonatada Sódica, Cloretada Sódica Cálcica, Cloretada Magnesiana Sódica, Bicarbonatada Cálcica e Bicarbonatada Cálcica Sódica, com 5,26%,

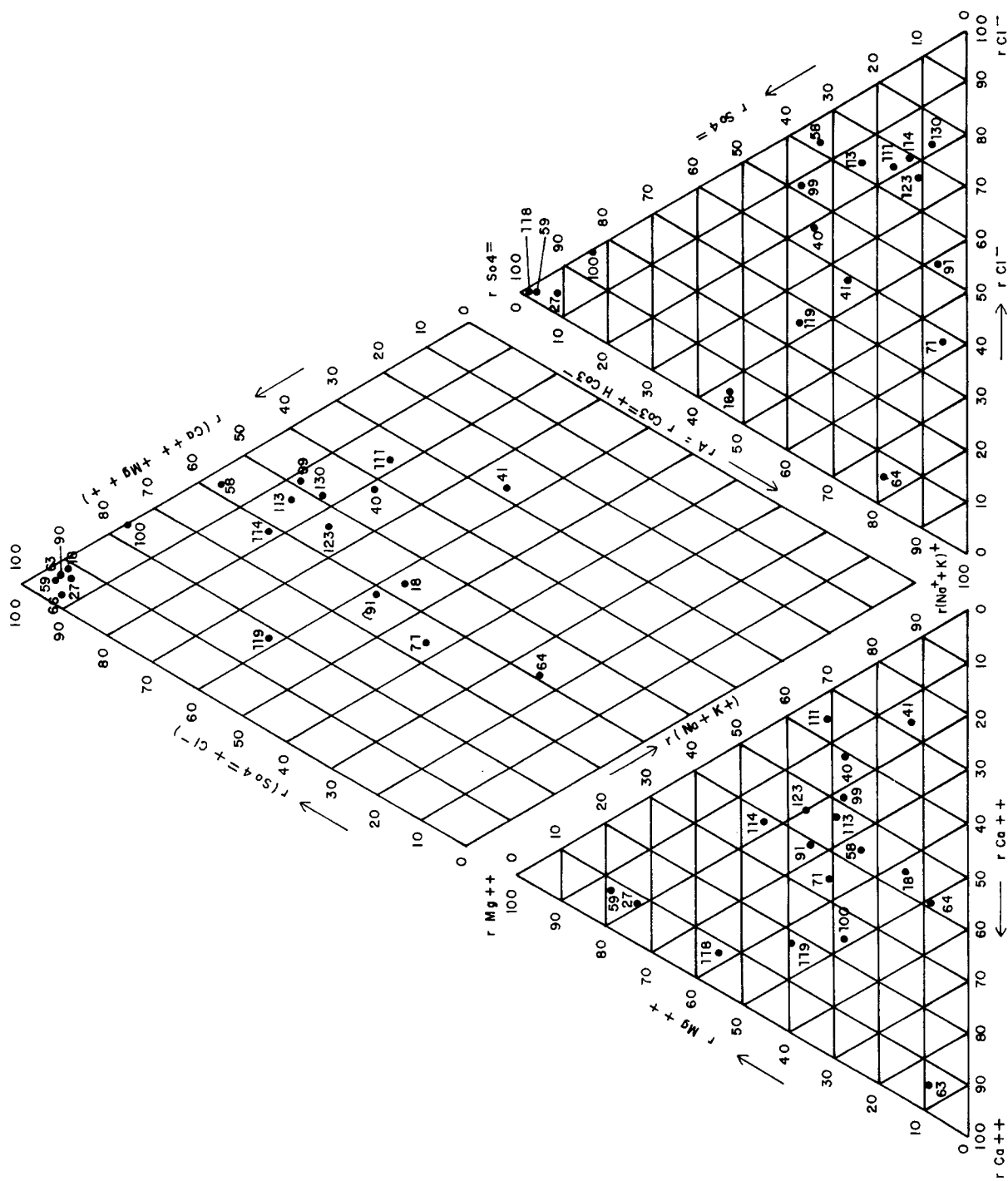


Fig. 28 - Classificação da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Diagrama de Piper. Teores em Porcentagem de meq/l. Amostragem 1984.



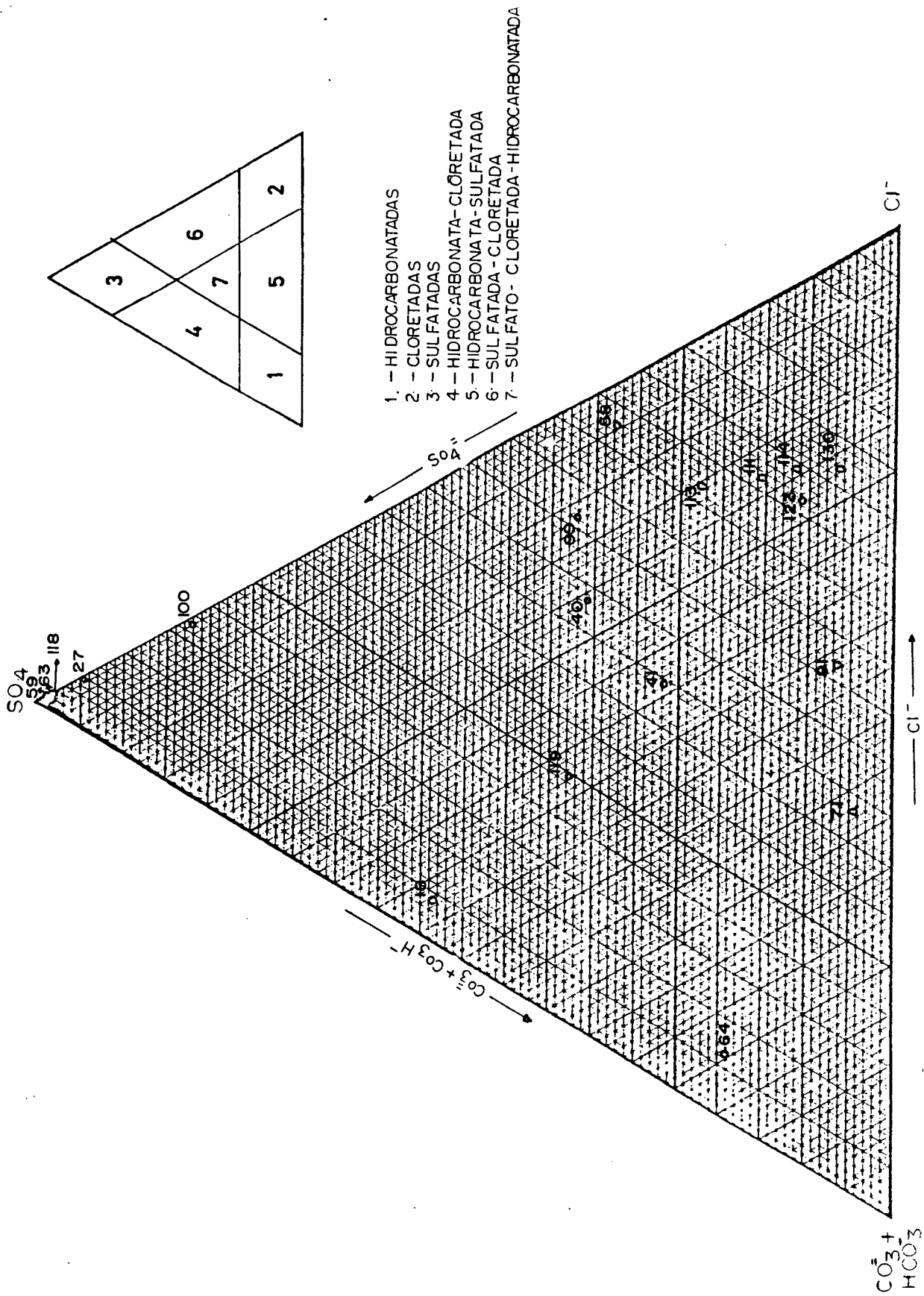


Fig. 29 - Classificação Aniônica da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Diagrama de Chichoukarew-Slavianov. Teores em Porcentagem de meq/l. Amostragem 1984.

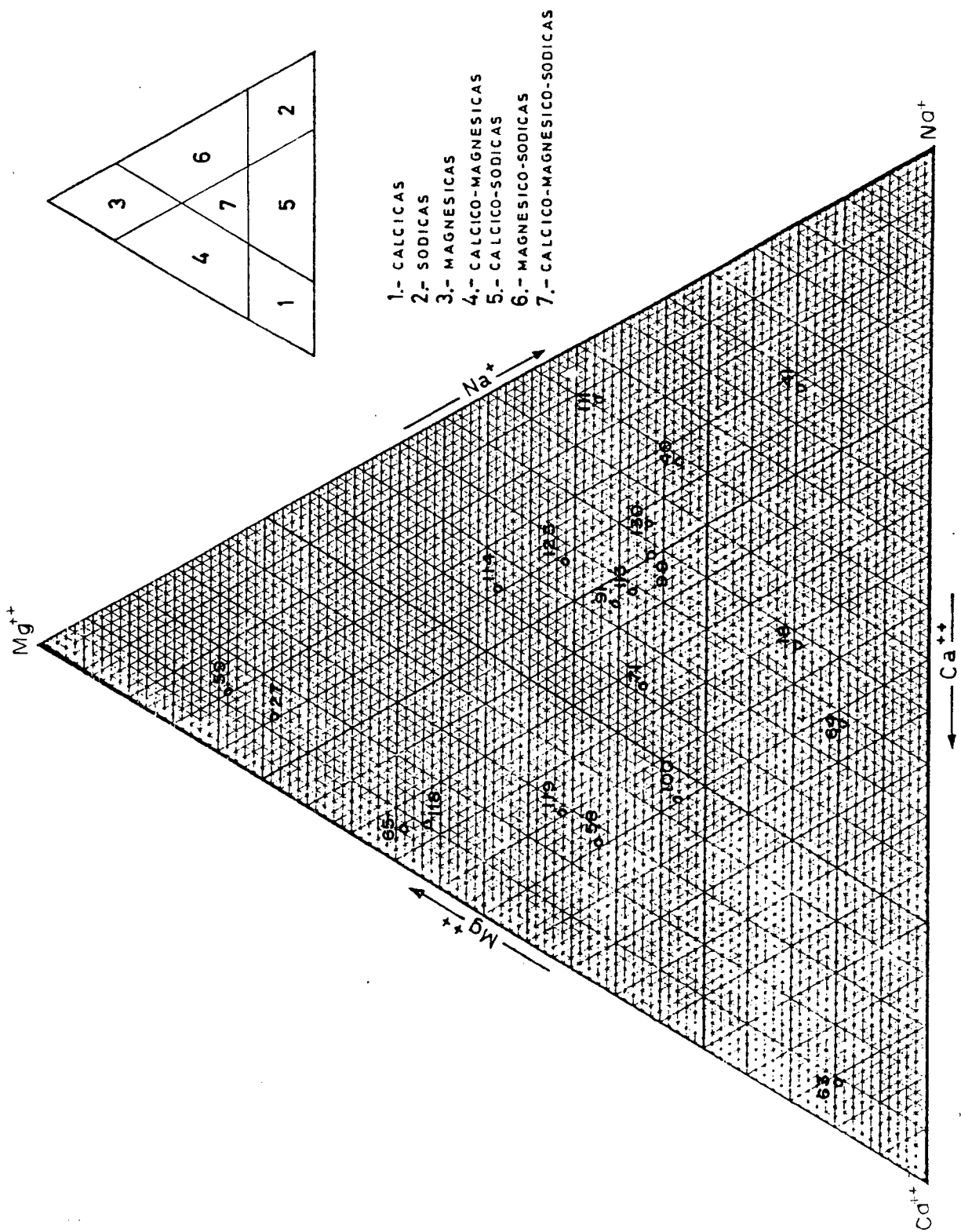


Fig. 30 - Classificação Catiônica da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Diagrama de Chitchoukarew-Slavianov. Teores em Porcentagem de mg/l. Anostragem 1984.



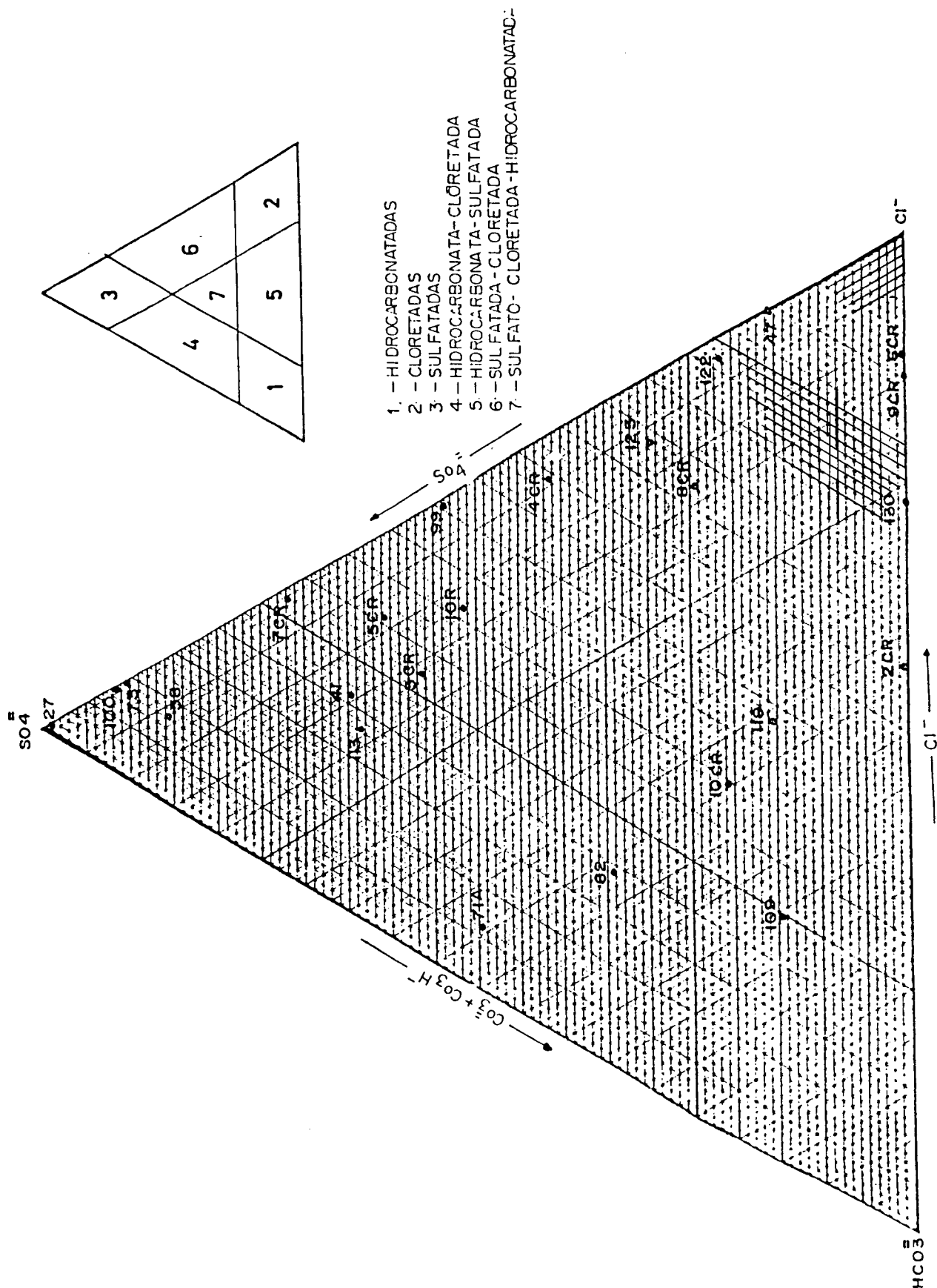


Fig. 32 - Classificação Aniônica da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Diagrama de Chitchevskiy-Slavianov. Teores em Porcentagem de meq/l. Amostragem de 1990.

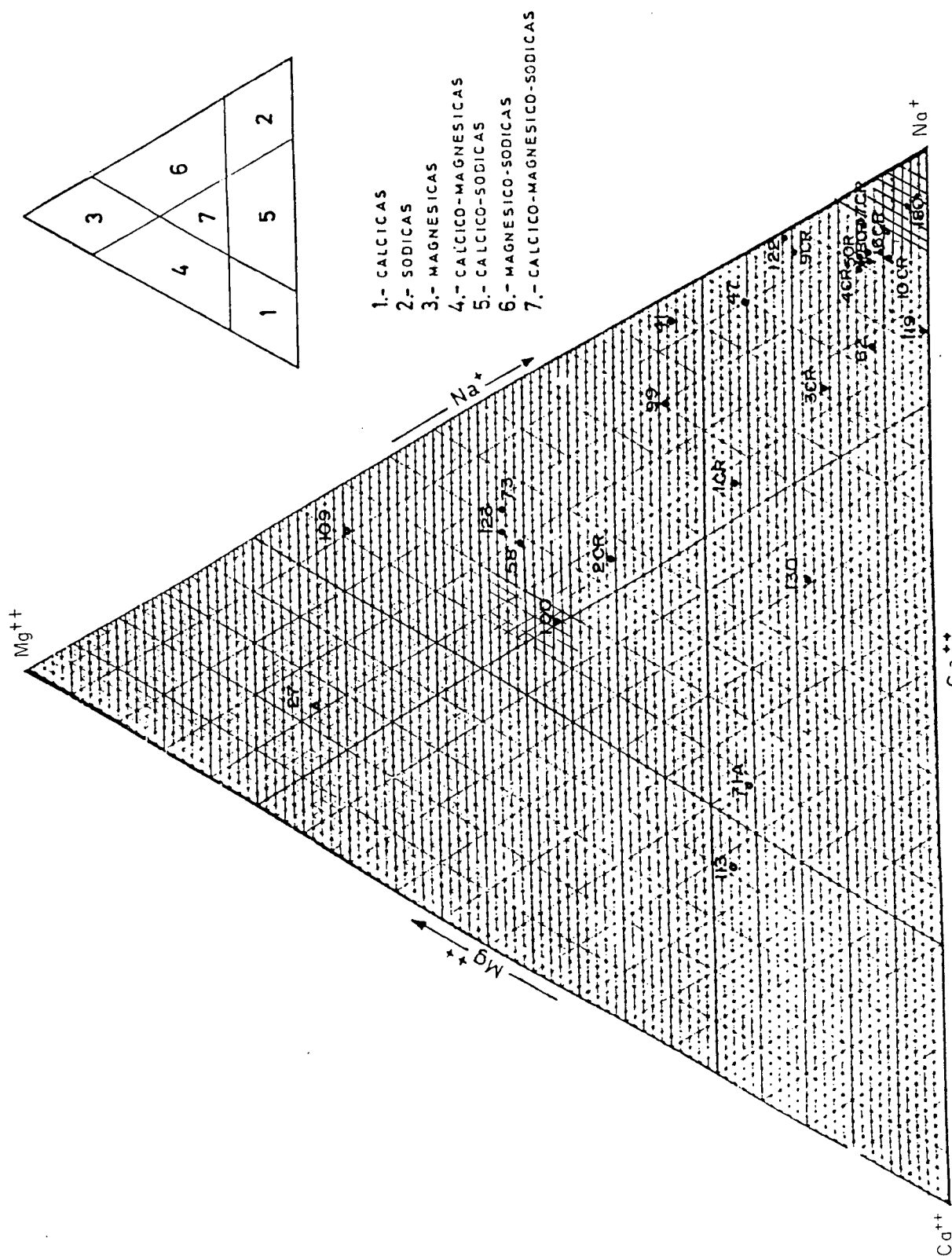


Fig. 33 - Classificação Catiônica da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Diagrama de Chetoukarew-Slavianov. Teores em Porcentagem de meq/l. Amostragem de 1990.

enquanto, para as amostras do ano de 1990 (tabela 16)) verifica-se que 7 (sete) (29,16%) são sulfatadas- sódicas e outras 7 (sete) (29,16%) são cloretadas- sódicas, 2 (duas) (8,33%) sódicas-magnesianas e bicarbonatadas- cloretadas-sódicas (8,33%), com 4,17% são águas sulfatadas- magnesianas, bicarbonatadas-sulfatada-sódicas, sulfatadas- bicarbonatadas- cálcicas-sódica, sulfatadas-sódicas-magnesianas, bicarbonatadas-magnesianas e sulfatadas- cálcicas.

De acordo com a classificação de CHTCHOUKAREW- SLAVIANOV pelo conteúdo catiônico nas amostras de 1984 (tabela 17) predominam as águas magnésico-sódica, com 31,8%, seguidas pelas cálcico-magnésicas, com 21%, cálcico-magnésicas-sódicas com 15,8%, as cálcico-sódica, com 10,5% e, em menor percentual as cálcicas com 5,2%. Para as amostras analisadas no ano de 1990 (tabela 18) predominam as águas sódicas 13 (treze) (54,16%), 7 (sete) (29,16%) magnésicas-sódicas, 2 (duas) (8,33%) cálcicas-sódicas, 1 (uma) (4,16%) magnesiana e 1 (uma) (4,16%) cálcica.

Com relação ao conteúdo aniônico nas águas subterrâneas do Membro Siderópolis (tabela 17), podemos observar predomínio das águas sulfatadas e cloretadas com 26,3% cada uma, as sulfatada-cloretadas com 10,52%, hidrocarbonatada-cloretadas com 10,52% e também as hidrocarbonatada-sulfatadas com 10,52%, seguidas pelas sulfato-cloretadas-hidrocarbonatadas, hidrocarbonatadas e as sulfatada-cloretadas, cada uma apresentando um percentual de 5,3%, para o ano de 1990 (tabela 18) obteve-se o seguinte

TABELA 15 - RESULTADOS DAS CLASSIFICAÇÕES DA AGUA  
AGUA SUBTERRÂNEA DO MEMBRO SIDERÓPOLIS  
SEGUNDO PIPER. AMOSTRAGEM 1984.

AMOSTRA	CLASSIFICAÇÃO
18	Sulfatada Sódica Cálcica
27	Sulfatada Magnesiana
40	Cloretada Sulfatada Sódica
41	Cloretada Bicarbonatada Sódica
58	Cloretada Sódica Cálcica
59	Sulfatada Magnesiana
63	Sulfatada Cálcica
64	Bicarbonatada Cálcica
71	Bicarbonatada Cálcica Sódica
91	Cloretada Sódica Magnesiana
99	Cloretada Sódica
100	Sulfatada Cálcica Magnesiana
111	Cloretada Sódica
113	Cloretada Sódica Magnesiana
114	Cloretada Magnesiana Sódica
118	Sulfatada Magnesiana
119	Sulfatada Bicarbonatada Cálcico Magnesiana
123	Cloretada Sódica Magnesiana
130	Cloretada Sódica Magnesiana

TABELA 16 - RESULTADOS DAS CLASSIFICAÇÕES DA AGUA  
SUBTERRANEA DO MEMBRO SIDERÓPOLIS,  
SEGUNDO PIPER. AMOSTRAGEM 1990.

AMOSTRA		CLASSIFICAÇÃO
1	CR	Sulfatada Sódica
2	CR	Cloretada Sódica Magnésiana
3	CR	Sulfatada Sódica
4	CR	Cloretada Sódica
5	CR	Sulfatada Sódica
6	CR	Cloretada Sódica
7	CR	Sulfatada Sódica
8	CR	Cloretada Sódica
9	CR	Cloretada Sódica
10	CR	Bicarbonatada Cloretada Sódica
27		Sulfatada Magnésiana
41		Sulfatada Sódica
47		Cloretada Sódica
58		Sulfatada Sódica
62		Bicarbonatada Sulfatada Sódica
71		Sulfatada Bicarbonatada Cálcica Sódica
99		Sulfatada Sódica
100		Sulfatada Sódica Magnésiana
109		Bicarbonatada Magnésiana
113		Sulfatada Cálcica
119		Bicarbonatada Cloretada Sódica
122		Cloretada Sódica
123		Cloretada Sódica Magnésiana
130		Cloretada Sódica



TABELA 17 - RESULTADOS DAS CLASSIFICAÇÕES DA ÁGUA  
SUBTERRÂNEA DO MEMBRO SIDERÓPOLIS, SEGUNDO  
CHTCHOUKAREW-SLAVIANOV. AMOSTRAGEM 1984

AMOSTRA	CATION	ÂNION
18	Cálcica - Sódica	Hidrocarbonata - Cloretada
27	Magnésica	Sulfatada
40	Magnésica - Sódica	Sulfatada - Cloretada
41	Sódica	Sulfato-Cloretada-Hidrocarbonatada
58	Cálcica - Magnésica	Sulfatada - Cloretada
59	Magnésica	Sulfatada
63	Cálcica	Sulfatada
64	Cálcica - Sódica	Hidrocarbonatada
71	Cálcica - Magnésica Sódica	Hidrocarbonata - Sulfatada
91	Cálcica - Magnésica Sódica	Hidrocarbonata - Sulfatada
99	Cálcica - Magnésica Sódica	Sulfatada - Cloretada
100	Cálcica - Magnésica	Sulfatada
111	Magnésica - Sódica	Cloretada
113	Cálcica - Magnésica Sódica	Cloretada
114	Magnésica - Sódica	Cloretada
118	Cálcica - Magnésica	Sulfatada
119	Cálcica - Magnésica	Hidrocarbonata - Cloretada
123	Magnésica - Sódica	Cloretada
130	Magnésica - Sódica	Cloretada

TABELA 18 - RESULTADOS DAS CLASSIFICAÇÕES DA ÁGUA  
SUBTERRÂNEA DO MEMBRO SIDERÓPOLIS, SEGUNDO  
CHTCHOUKAREW-SLAVIANOV. AMOSTRAGEM 1990

AMOSTRA		CLASSIFICAÇÃO	
		CATION	ANION
1	CR	Sódica	Sulfetada - Cloretada
2	CR	Magnésica - Sódica	Hidrocarbonata - Sulfatada
3	CR	Sódica	Sulfatada - Cloretada
4	CR	Sódica	Sulfatada - Cloretada
5	CR	Sódica	Sulfatada - Cloretada
6	CR	Sódica	Cloretada
7	CR	Sódica	Sulfatada - Cloretada
8	CR	Sódica	Cloretada
9	CR	Sódica	Cloretada
10	CR	Sódica	Hidrocarbonata - Sulfatada
27		Magnésica	Sulfatada
41		Magnésica - Sódica	Sulfatada
47		Sódica	Cloretada
58		Magnésica - Sódica	Sulfatada
62		Sódica	Hidrocarbonata - Cloretada
71		Cálcica - Sódica	Hidrocarbonata - Cloretada
99		Magnésica - Sódica	Sulfatada - Cloretada
100		Magnésica - Sódica	Sulfatada
109		Magnésica - Sódica	Hidrocarbonatada
113		Cálcica	Sulfatada
119		Sódica	Hidrocarbonata - Sulfatada
122		Sódica	Cloretada
123		Magnésica - Sódica	Sulfatada - Cloretada
130		Cálcica - Sódica	Hidrocarbonata - Sulfatada

quadro: predominam as águas sulfatadas-cloretadas 7 (sete) (29,16%) , 5 (cinco) (20,83%) cloretadas, 5 (cinco) (20,83%) sulfatadas, 5 (cinco) (20,83%) hidrocarbonatas-sulfatadas, 2 (duas) (8,33%) hidrocarbonatas-cloretadas. Pelo conteúdo catiônico (figura 38) predominam as águas sódicas 13 (treze) (54,16%), 7 (sete) (29,16%) magnésicas-sódicas, 2 (duas) (8,33%) cálcica-sódicas, 1 (uma) (4,16%) magnésiana e 1 (uma) (4,16%) cálcica.

#### 5.1.2. - Qualidade da Água para os Diversos Usos

##### 5.1.2.1. - Consumo Humano

Este estudo foi baseado nos padrões estabelecidos pelo Decreto Nº 12.846 de 20.10.1978 NTA-60, sancionado pelo Governo do Estado de São Paulo, por tratar-se de uma legislação específica e ampla na definição dos limites máximos admissíveis no que se refere aos parâmetros físicos e químicos, necessários para o estabelecimento da potabilidade das águas a serem consumidas pela população.

A tabela 19 relaciona os padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação acima com os resultados analíticos obtidos nas amostras de água subterrânea do Membro Siderópolis, cujos os resultados analíticos foram obtidos nos anos de 1984 e 1990. Observa-se que as águas contidas neste membro não apresentam os parâmetros físicos-químicos necessários para

enquadrá-las como de boa qualidade para o consumo humano.

Tabela 19 - Aptidão das Águas Subterrâneas do Membro  
Siderópolis para Consumo Humano. Decreto  
12.846. Amostragem 1984-1990

Elemento	Unidade	Padrão Adotado	Resultados Analíticos			
			No Padrão		Fora do Padrão	
			1984 - 1990		1984 - 1990	
pH	-	5 - 10	42% - 13%		58%	87%
Dureza	mg/l CaCO <sub>3</sub>	100-200	100%- 100%		-	-
Alcalinidade	" "	250	100%- 100%		-	-
Resíduo Seco						
180°C	mg/l	500	68%	96%	32%	4%
Cloretos	mg/l Cl <sup>-</sup>	250	100%- 100%		-	-
Ferro Total	mg/l Fe	0,3	47% - 58%		53%	42%

Diante das circunstâncias achou-se necessário fazer algumas considerações sobre os resultados obtidos:

- pH - dos 19 (dezenove) valores determinados em 1984, 58% encontram-se fora dos valores estabelecidos pela legislação, enquanto para as amostras coletadas no ano de 1990 os valores obtidos indicam que 87% estão fora do padrão;

- Dureza, Alcalinidade e Cloretos - das amostras analisadas, nos anos 1984 e 1990, 100% incluem-se dentro do padrão estabelecido;

- Resíduo Seco - 32% ultrapassam os limites estabelecidos, chegando a atingir um valor máximo de 5879,2 mg/l, enquanto em 1990 apenas 4% ultrapassou os limites estabelecidos;

- Ferro Total - das 19 (dezenove) amostras, 53% encontram-se fora dos limites estabelecidos, apresentando concentrações de até 50 mg/l, em 1990 42%, do total amostrado encontram-se fora do padrão estabelecido.

Dos resultados alcançados verifica-se que as águas subterrâneas no Membro Siderópolis, em sua maioria, não apresentam os padrões de potabilidade estabelecidos em lei. Este fato é proveniente do processo de infiltração das águas superficiais contaminadas, originárias das minas de carvão (céu aberto e subterrâneas), beneficiamento de carvão, chuvas ácidas e da lavagem das pilhas de rejeitos carbonosos e piritosos que ocorrem na área. Estes dados indicam que o processo de contaminação não ocorre apenas a nível das águas superficiais,

mas que também atingiu a qualidade dos recursos hídricos subterrâneos da região carbonífera.

Baseado no Diagrama de Análise de Água de SCHOELLER-BERKALLOFF (figuras 34 a 44), e na tabela 20 constatou-se o seguinte:

- Com relação ao pH as amostras de 1984, 84% acima do padrão estabelecido, enquanto para as amostras de 1990 100% estão fora do limite;

- As amostras de 1984 apenas 5% das apresentam potabilidade má, em 1990 100% das amostras estão nos limites estabelecidos e consideradas de potabilidade boa;

- Com relação a dureza em 1984 5% das amostras apresentaram potabilidade má, medíocre e passável, enquanto as amostras de 1990 apresentaram o seguinte quadro quanto a potabilidade: má 8%, medíocre 17% e passável 13%;

- No que se refere ao sulfato ( $\text{SO}_4$ ), em 1984 10% atingiram potabilidade momentânea e 5% potabilidade medíocre, e para as amostras de 1990, 4% apresentaram potabilidade má e 4% passável.

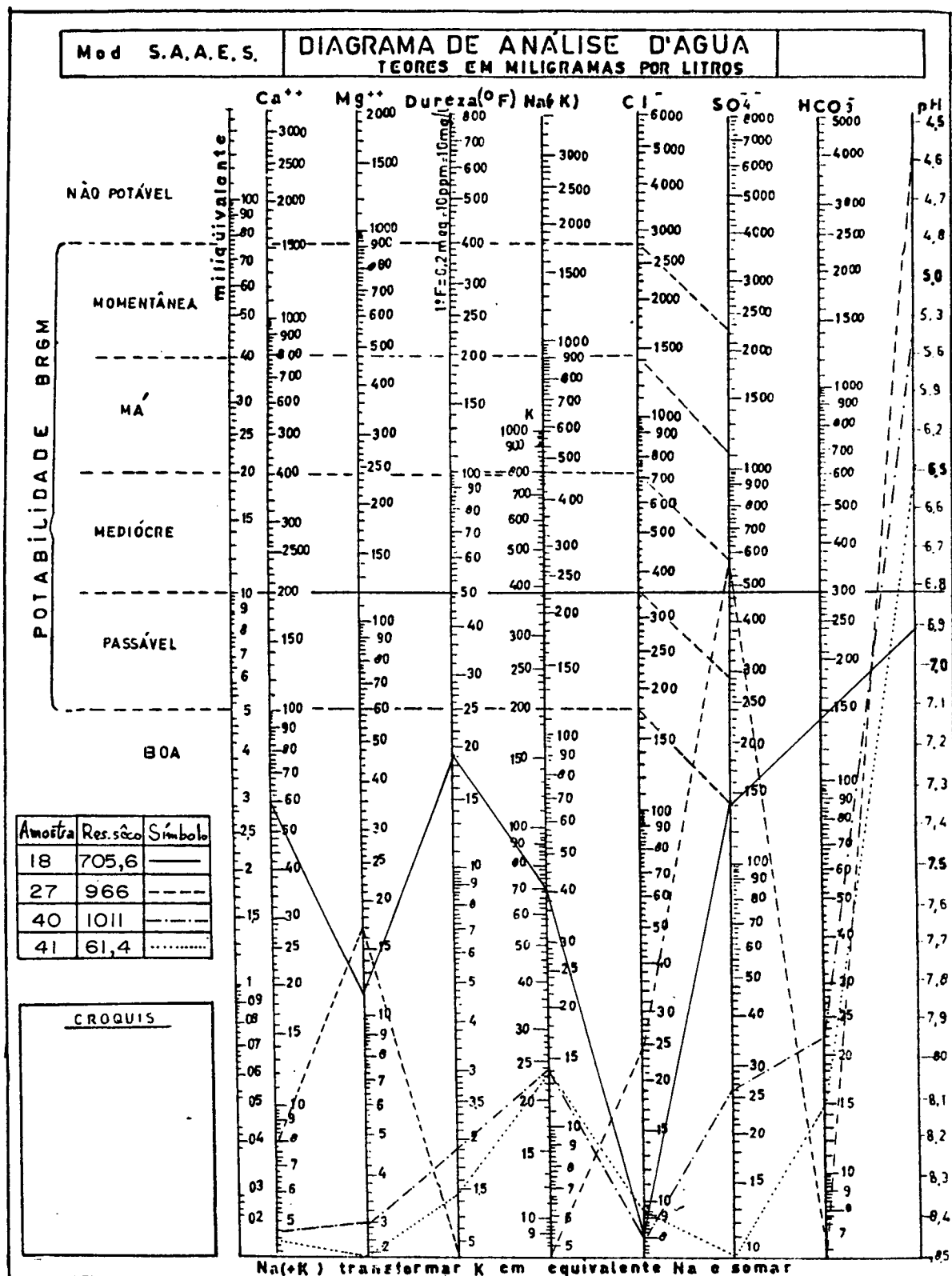


Fig. 34 - Classificação da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Diagrama de Schoeller-Berkaloff. Teores em mg/l. Amostragem 1984.

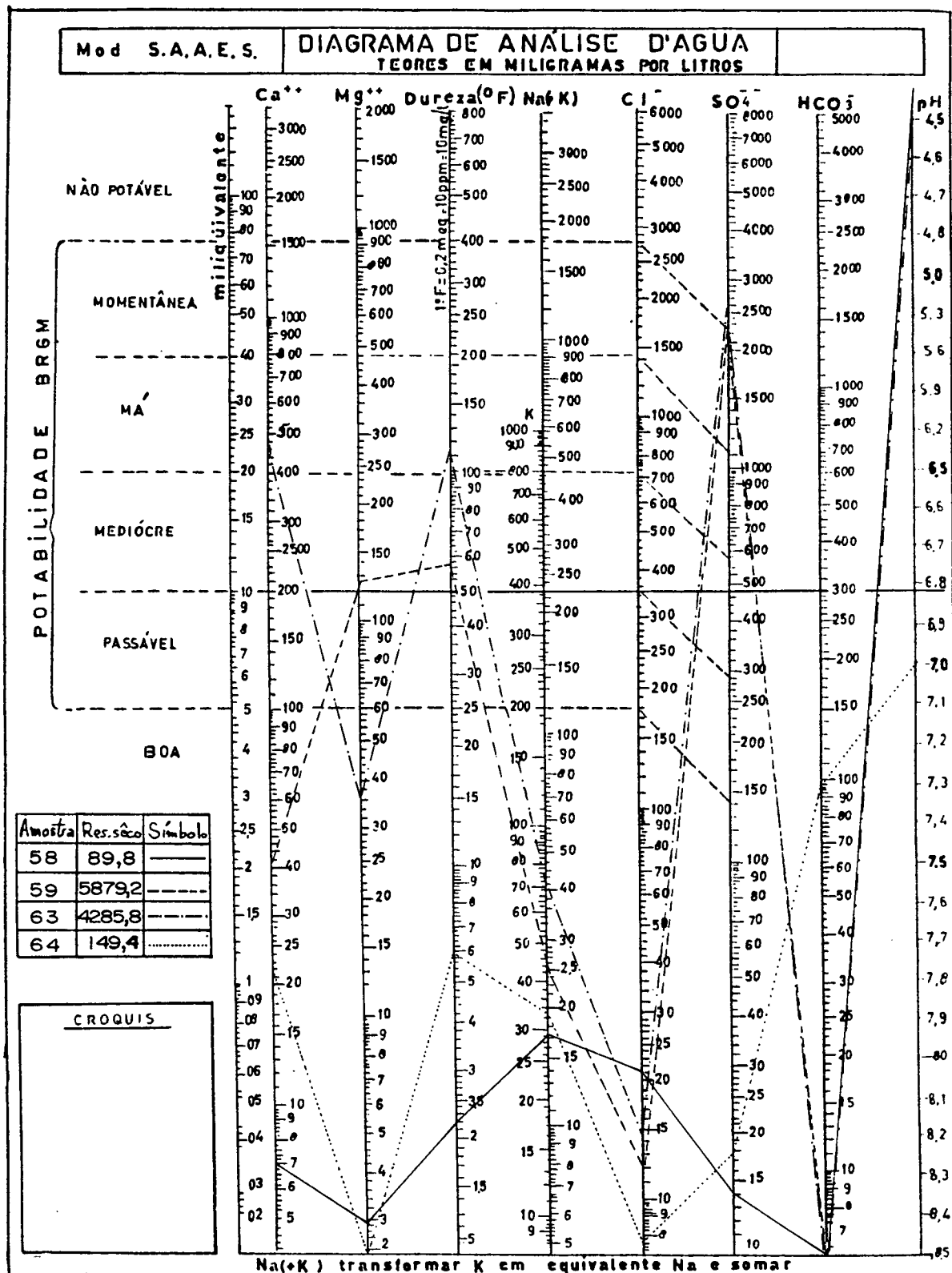


Fig. 35 - Classificação da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Diagrama de Schoeller-Berkaloff. Teores em mg/l. Amostragem 1984.



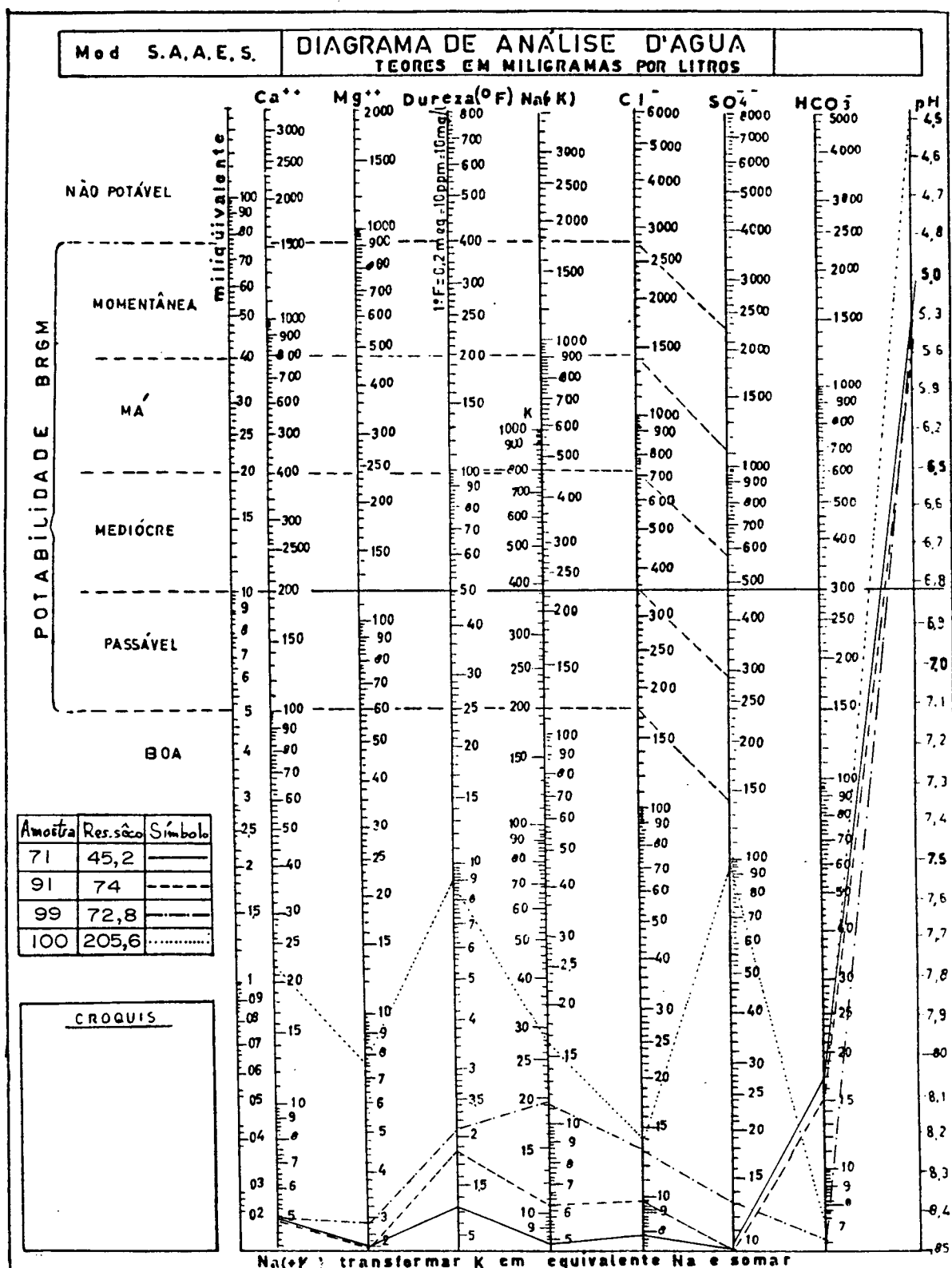


Fig. 36 - Classificação da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Diagrama de Schoeller-Berkaloff. Teores em mg/l. Amostragem 1984.

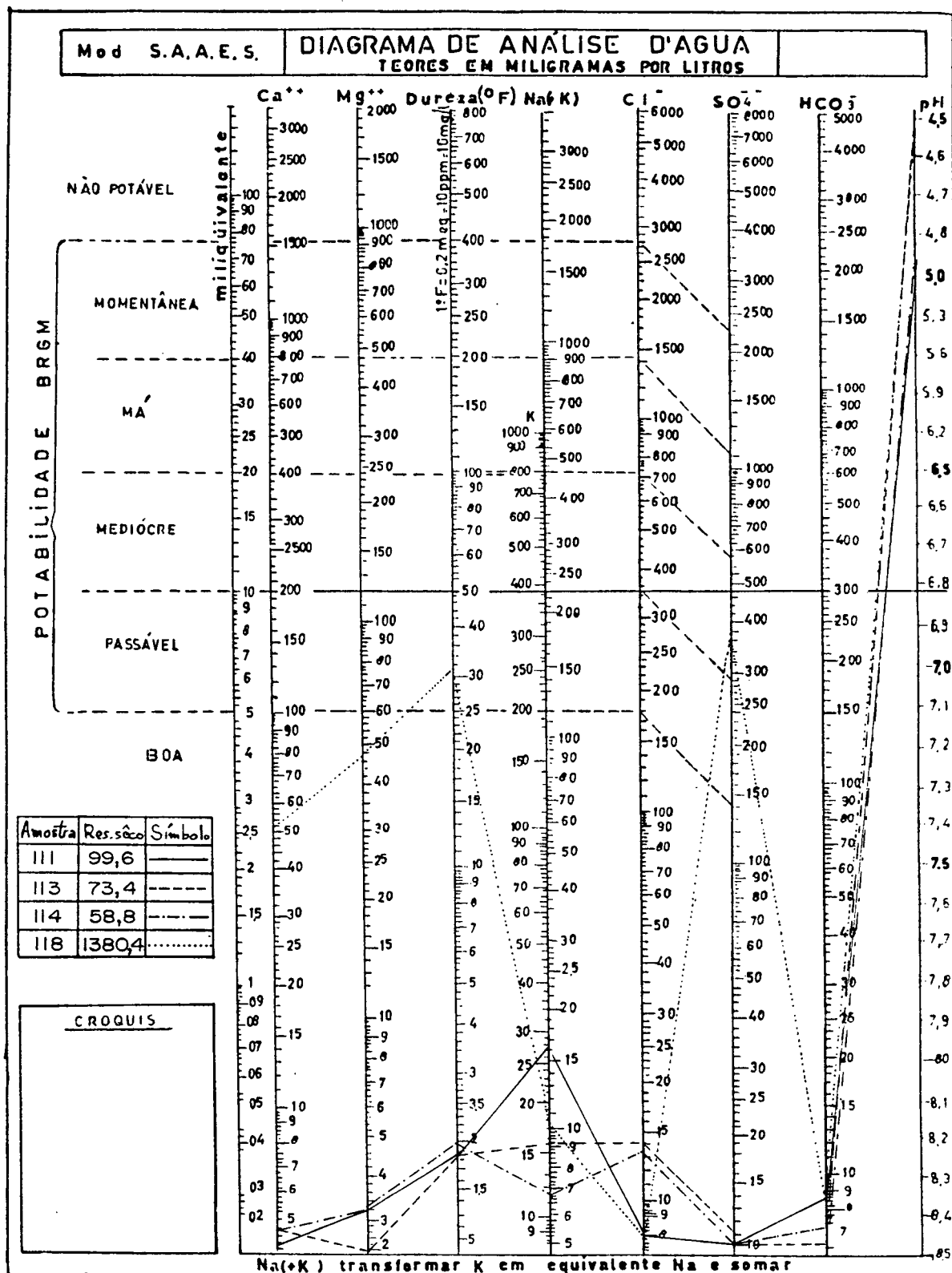


Fig. 37 - Classificação da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Diagrama de Schoeller-Berkaloff. Teores em mg/l. Amostragem 1984.

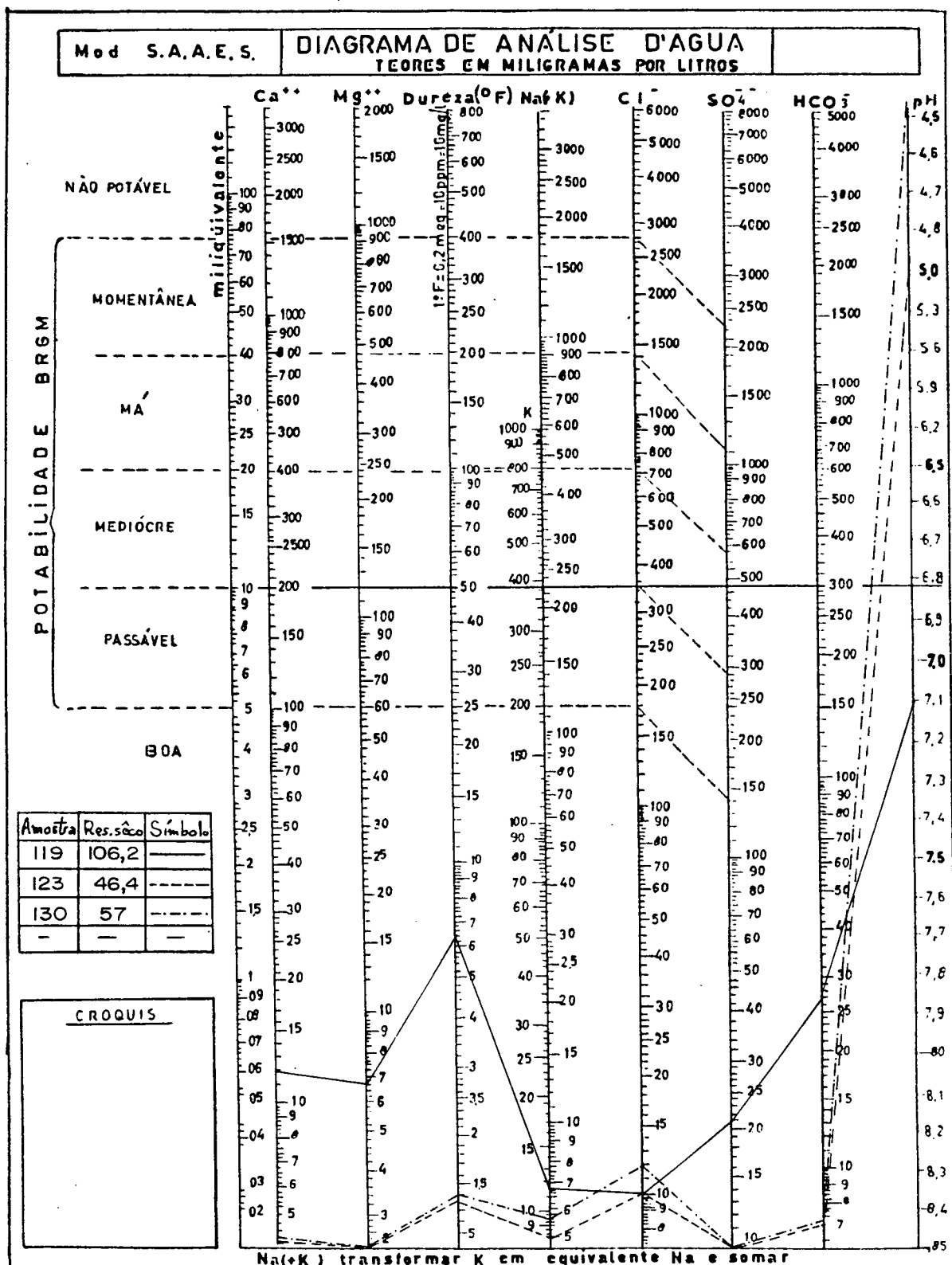


Fig. 38 - Classificação da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Diagrama de Schoeller-Berkaloff. Teores em mg/l. Amostragem 1984.

Mod S.A.A.E.S.

# DIAGRAMA DE ANÁLISE D'AGUA TEORES EM MILIGRAMAS POR LITROS

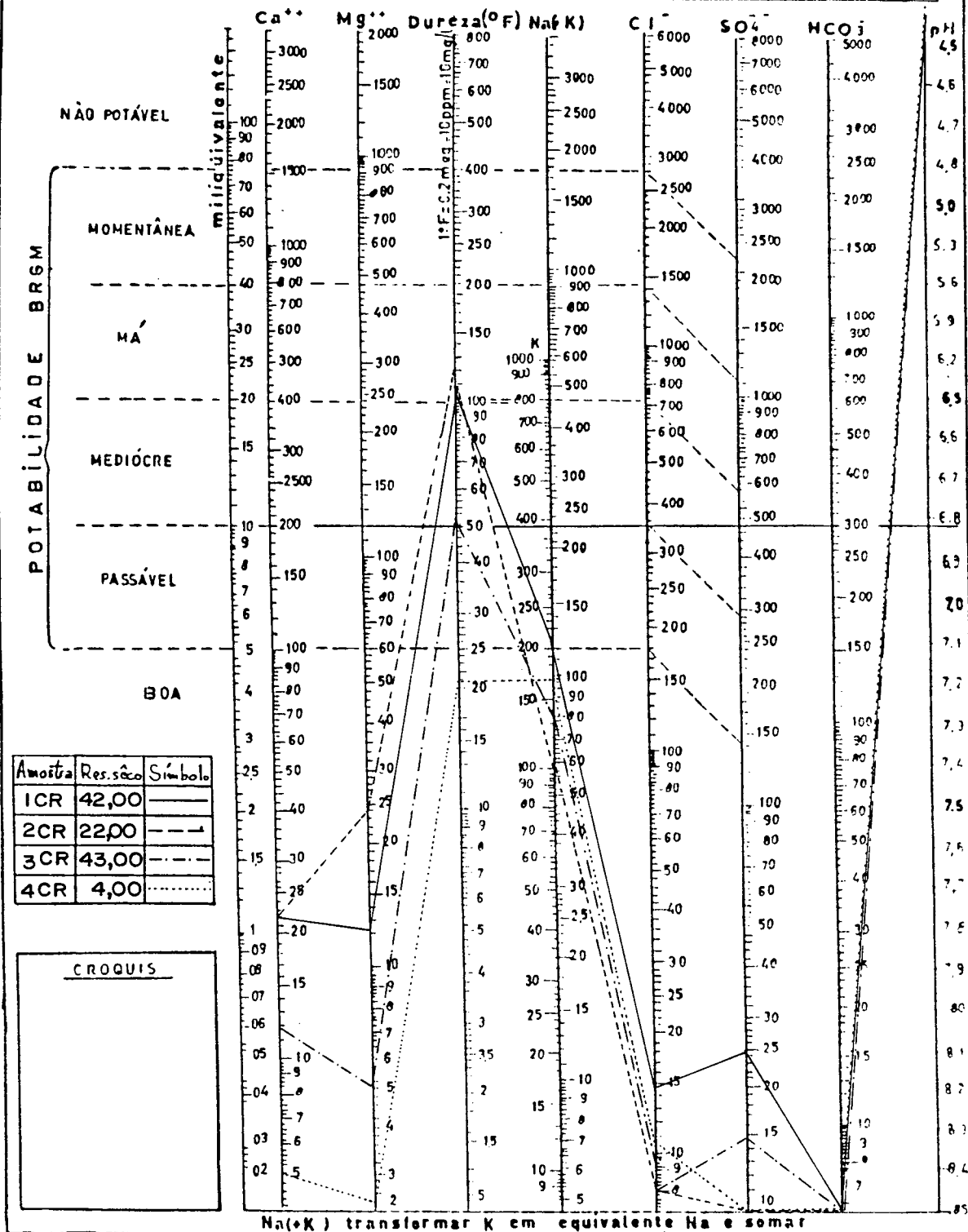


Fig. 39 - Classificação da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Diagrama de Schoeller-Berkaloff. Teores em mg/l. Amostragem 1990.

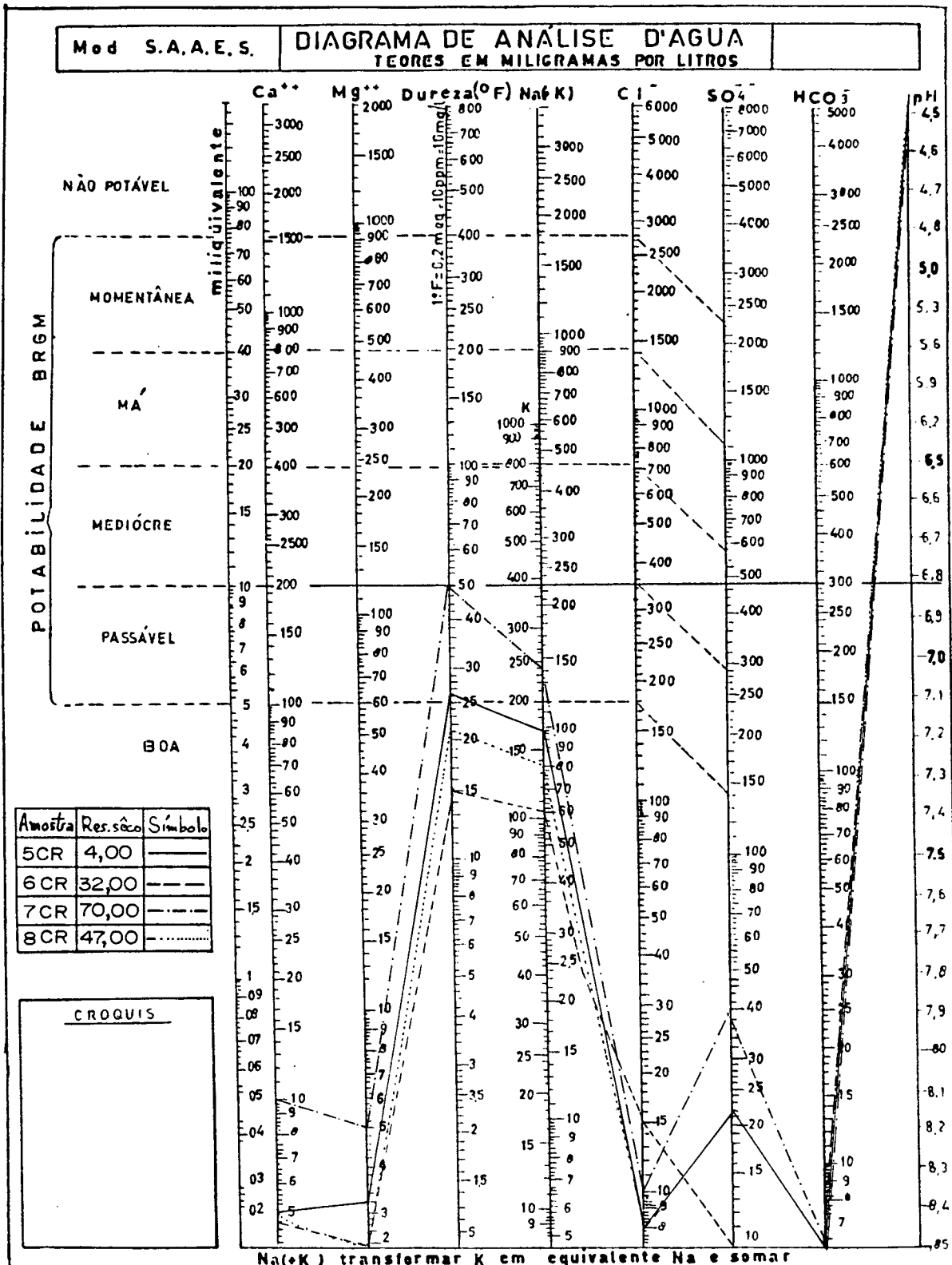


Fig. 40 - Classificação da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Diagrama de Schoeller-Berkaloff. Teores em mg/l. Amostragem 1990.

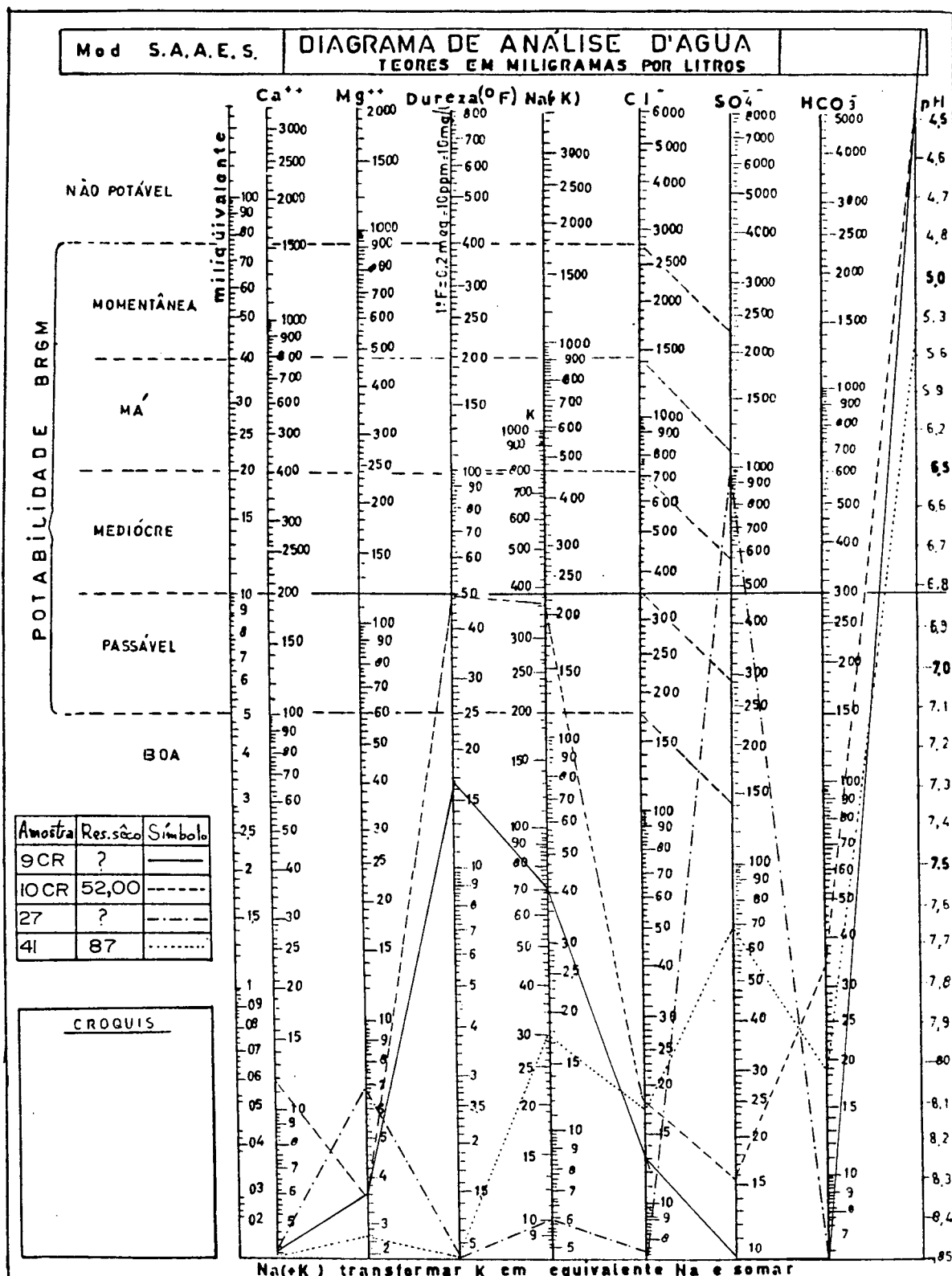


Fig. 41 - Classificação da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Diagrama de Schoeller-Berkaloff. Teores em mg/l. Amostragem 1990.

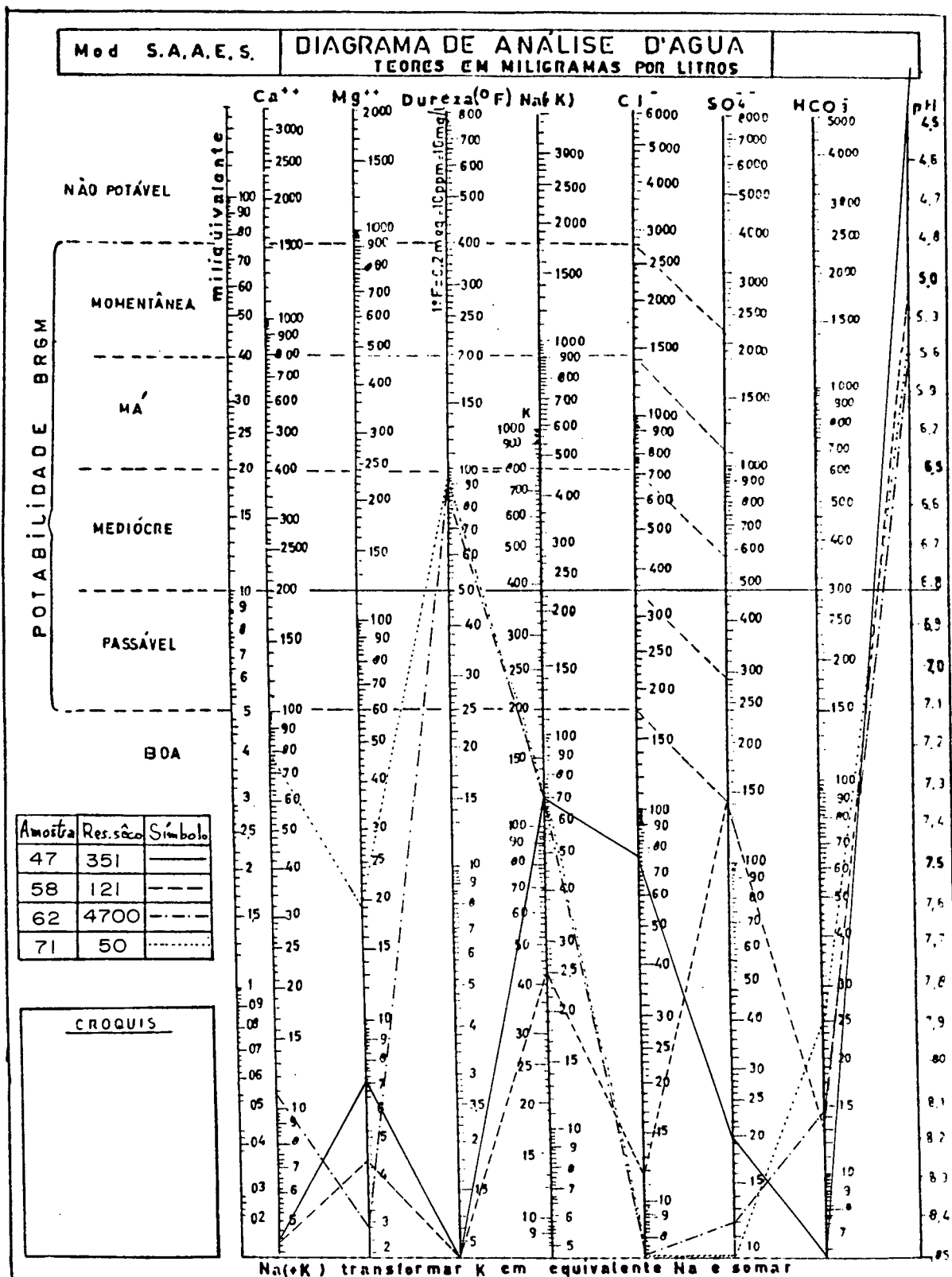


Fig. 42 - Classificação da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Diagrama de Schoeller-Berkaloff. Teores em mg/l. Amostragem 1990.

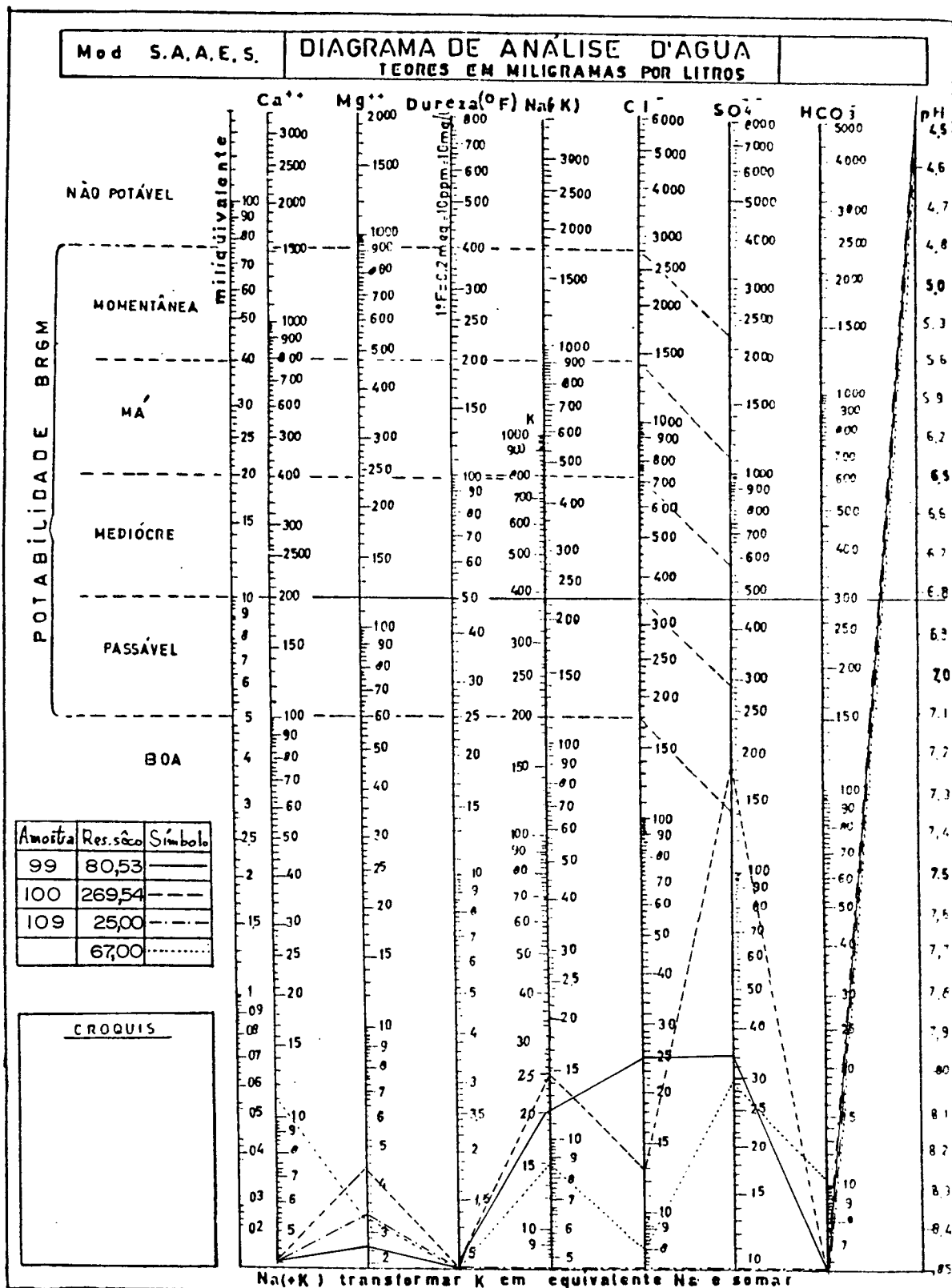


Fig. 43 - Classificação da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Diagrama de Schoeller-Berkaloff. Teores em mg/l. Amostragem 1990.



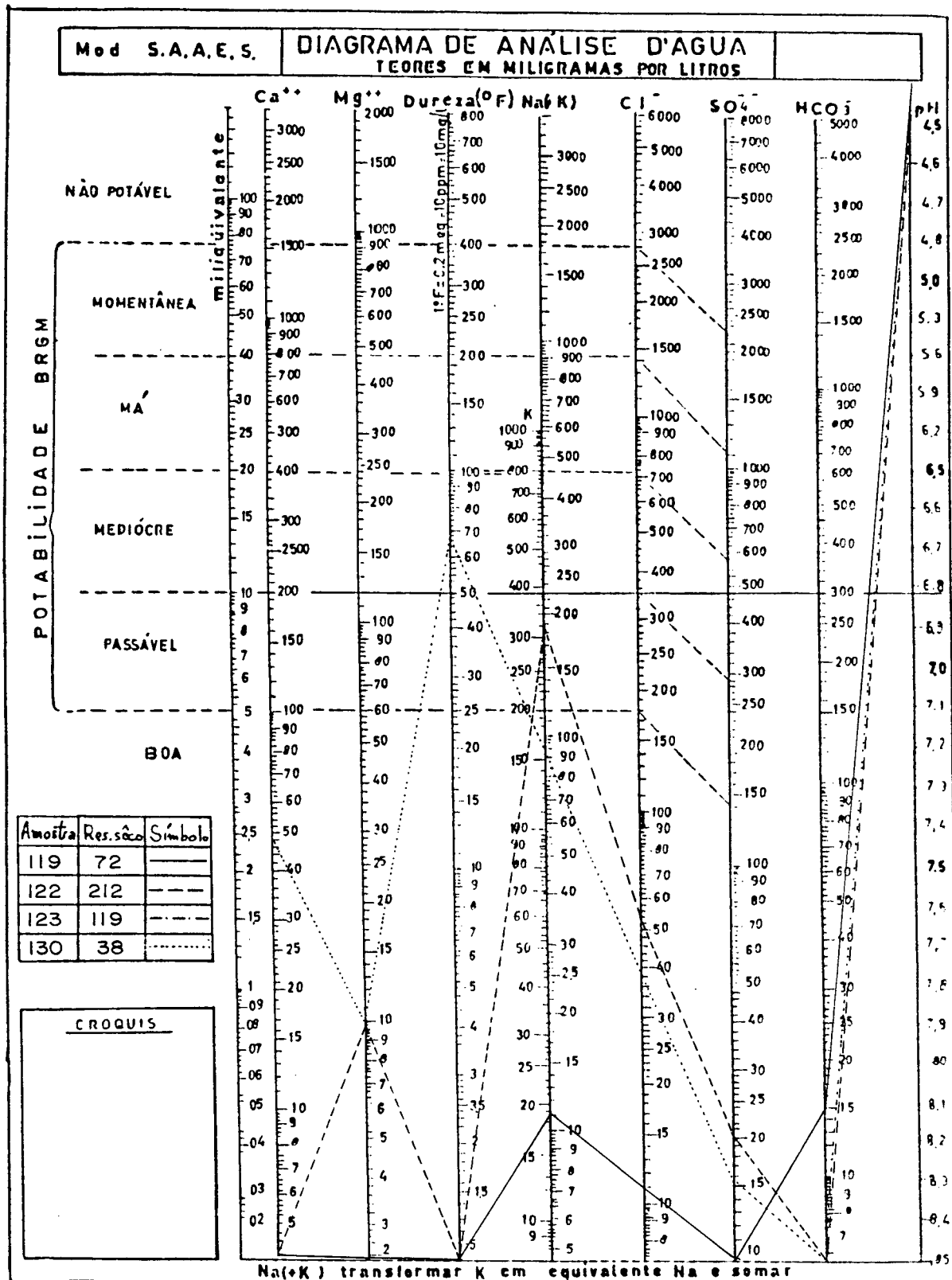


Fig. 44 - Classificação da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Diagrama de Schoeller-Berkaloff. Teores em mg/l. Amostragem 1990.

Tabela 20 - Aptidão das Águas Subterrâneas do Membro  
Siderópolis quanto a Potabilidade. Segundo  
Schoeller-Berkaloff. Amostragem 1984-1990.

	Potabilidade		Ca++	Mg++	Dureza		Na+ + K+	Cl-	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH
	84-90		84-90	84-90	84-90		84-90	84-90	84-90	84-90	84-90
Não Potável	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	84%-100%
Momentânea	-	-	-	-	-	-	-	-	10%	-	-
Má	5%-	-	-	5%	8%	-	-	-	4%	-	-
Medíocre	-	-	-	-	5%	17%	-	-	5%	-	-
Passável	-	-	-	-	5%	13%	-	-	-	4%	-
Boa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

#### 5.1.2.2. Uso Agrícola

Para determinação da qualidade das águas subterrâneas para fins de irrigação, adotou-se o procedimento de classificação do "U.S. Salinity Laboratory Staff" (1954).

Os diversos grupos de água são definidos para determinados tipos de solo e cultura que se pretende realizar.

Foram estabelecidos quatro grupos que são:

C1 - Água com baixa salinidade. Condutividade compreendida entre 100 e 250 micromhos/cm. Com estas águas pode-se irrigar a maioria dos solos e cultivos, sem temor de prejuízos salinos. O lavado natural é suficiente e somente os terrenos de muito baixa permeabilidade tem que realizar trabalhos especiais.

C2 - Água de salinidade média. Condutividade compreendida entre 250 e 270 micromhos/cm. Possível de utilização na condição de existir um grau moderado de lavagem. Os cultivos com moderada tolerância aos sais se desenvolvem sem práticas especiais de controle.

C3 - Água altamente salina. Condutividade compreendida entre 750 a 2250 micromhos/cm. A drenagem dos solos para utilização destas águas não pode ser deficiente; embora com drenagens adequadas pode-se as vezes necessitar de práticas especiais que permitam controlar a salinidade e somente deve-se cultivar plantas muito tolerantes aos sais.

C4 - A condutividade é maior de 2.250 micromhos/cm. Somente é utilizavel na irrigação em condições muito especiais. Os solos devem ser permeáveis, a drenagem adequada a cultivos

somente toleráveis.

Para a concentração relativa de sódio frente ao cálcio e magnésio utiliza-se o índice de SAR (relação de absorção de sódio), através da seguinte equação:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}}$$

A concentração do  $Na^+$ ,  $Ca^{++}$  e  $Mg^{++}$  deve ser em miliequivalentes por litro.

Para que o SAR seja característico da dissolução do solo, é indispensável que não hajam precipitações de sais de cálcio ou magnésicos, como consequência da evapotranspiração.

A classificação deste índice se baseia nas modificações do sódio que troca e exerce modificações físicas no terreno, como também não se pode esquecer que este íon pode causar danos aos vegetais.

S1 - Baixo conteúdo em sódio. Pode-se usar e não são esperados sérios prejuízos no desenvolvimento dos vegetais.

S2 - Conteúdo médio de sódio. Existe certo perigo quando se irriga solos de textura fina com alta capacidade de

troca, especialmente em condições de lavagem deficiente. Estas águas podem ser empregadas em solos de textura grossa ou com solos orgânicos com boa permeabilidade.

S3 - Alto conteúdo em sódio. Pode ocasionar elevados níveis de sódio intercambiável na maioria dos casos, por isto os solos necessitam de práticas especiais de manejo, boa drenagem, intensa lavagem e adição de matéria orgânica.

S4 - Conteúdo muito alto de sódio. Salvo em casos raros, é inadequada para a irrigação em geral, exceto quando a salinidade é baixa ou média sempre que há dissolução do cálcio no solo.

As amostras coletadas nos anos de 1984 e 1990 foram plotadas no gráfico de SAR (figuras 45 e 46), e apresentaram diversos tipos de água para utilização na irrigação.

Nas tabelas 21 e 22 verifica-se os cálculos efetuados para obtenção da respectiva classificação.

Das 19 (dezenove) amostras apenas 10,5% pertencem ao grupo C4S1 e 5,25% ao grupo C3S1, significando que 84,25% não apresentam perigo à salinização e alcalinização do solo.

Das 22 (vinte e duas) amostras em 1990 todas possuem aptidão para o uso na irrigação, conforme os padrões adotados pelo Laboratório de Salinidade de Riverside do Departamento de

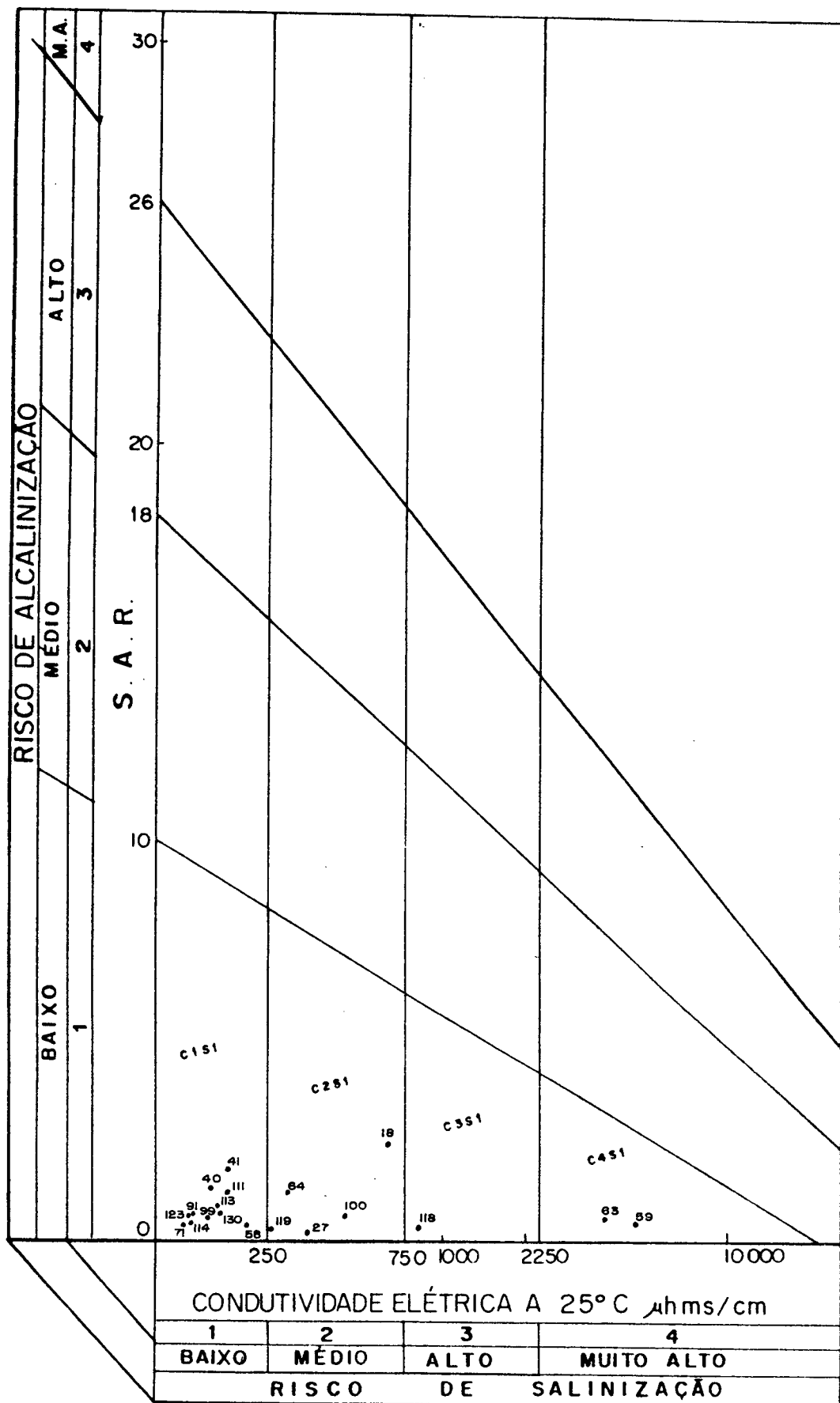
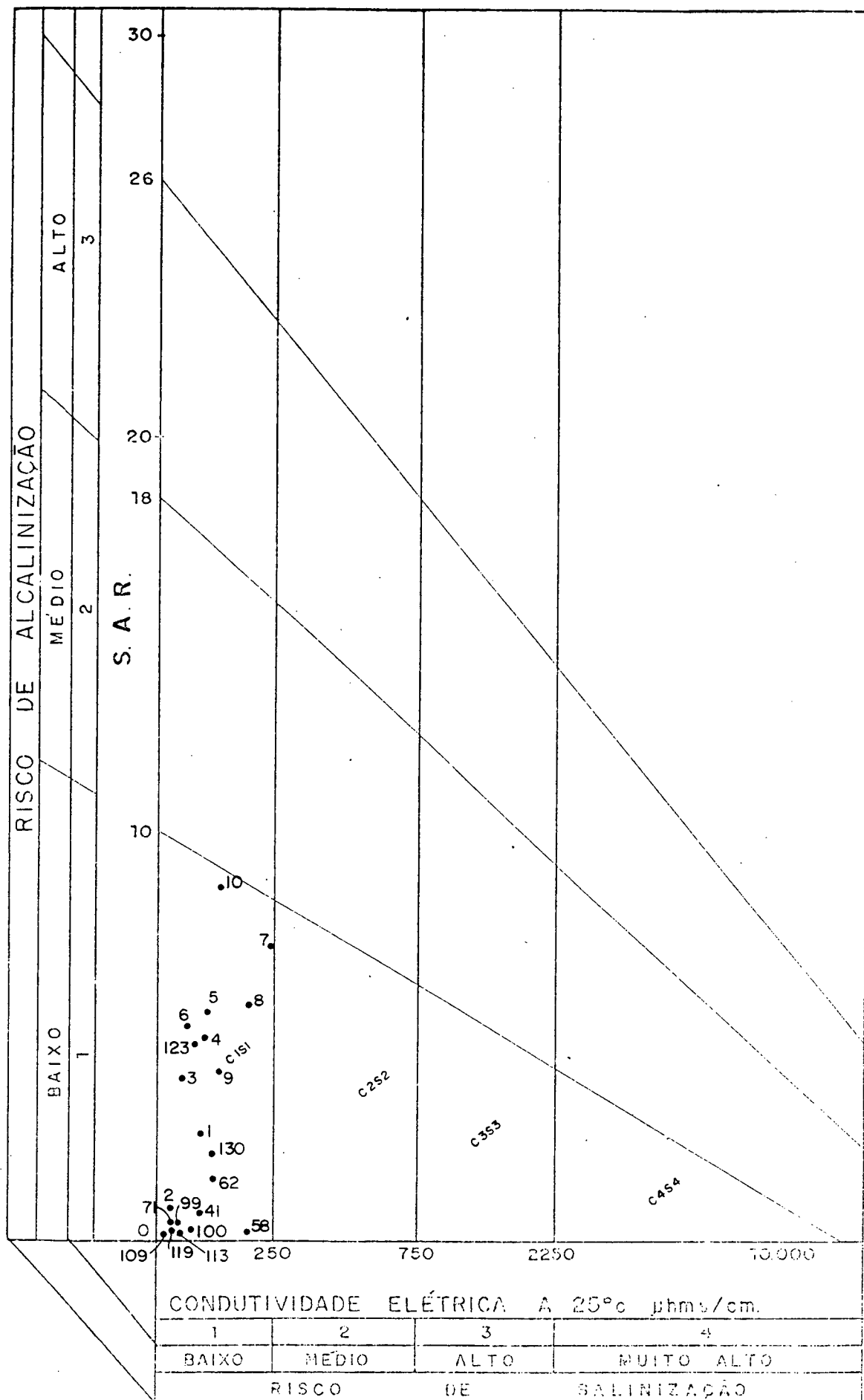


Fig. 45 - Classificação da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Diagrama de SAR. Razão de Adsorção do Sódio (meq/l) X Condutividade Elétrica ( $\mu\text{mhos/cm}$ ). Amostragem 1984.



DE 1 a 10 CR

Fig. 46 - Classificação da Água Subterrânea do Membro Siderópolis, segundo Diagrama de SAR. Razão de Adsorção de Sódio (meq/l) X Condutividade Elétrica (µmhos/cm). Amostragem 1990.

TABELA - 21- APTIDÃO DA AGUA SUBTERRÂNEA DO MEMBRO SIDERÓPOLIS  
PARA IRRIGAÇÃO COM BASE NO DIAGRAMA E NOS PADRÕES  
DO LABORATÓRIO DE SALINIDADE DE RIBERSIDAE DO DEPAR-  
TAMENTO DE AGRICULTURA DOS ESTADOS UNIDOS.  
AMOSTRAGEM 1984.

AMOSTRA	Na+		Na+		Cond.	Classe
	Na+	Ca++ + Mg++/2	$\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}$	SAR		
18	3,00	1,95	1,39	2,14	666	C2-S1
27	0,12	0,90	0,94	0,12	440	C2-S1
40	0,49	0,19	0,43	1,13	145	C1-S1
41	0,47	0,10	0,31	1,51	175	C1-S1
58	0,09	0,28	0,52	0,17	211	C1-S1
59	0,78	6,31	2,51	0,31	4902	C4-S1
63	1,22	13,19	3,63	0,33	3830	C4-S1
64	0,80	0,62	0,78	1,02	280	C2-S1
71	0,11	0,12	0,34	0,32	68	C1-S1
91	0,23	0,19	0,43	0,53	92	C1-S1
99	0,34	0,21	0,45	0,75	148	C1-S1
100	0,51	0,90	0,94	0,54	478	C2-S1
111	0,42	0,16	0,40	1,05	162	C1-S1
113	0,22	0,16	0,40	0,55	153	C1-S1
114	0,18	0,18	0,42	0,42	81	C1-S1
118	0,35	3,28	1,81	0,19	815	C3-S1
119	0,20	0,59	0,76	0,26	259	C2-S1
123	0,13	0,10	0,31	0,41	80	C1-S1
130	0,20	0,11	0,33	0,60	124	C1-S1



TABELA 22 - APTIDÃO DA AGUA SUBTERRÂNEA DO MEMBRO SIDERÓPOLIS  
PARA IRRIGAÇÃO COM BASE NO DIAGRAMA E NOS PADRÕES  
DO LABORATÓRIO DE SALINIDADE DE RIBERSIDAE DO DEPAR-  
TAMENTO DE AGRICULTURA DOS ESTADOS UNIDOS.  
AMOSTRAGEM 1990.

Amostra	Na+		Na+ ----- √(Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup> )/2 SAR		Cond.	Grupo
	Na+	Ca++ + Mg++/2	Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>			
1CR	2,69	1,02	1,00	2,69	120	C1-S1
2CR	1,95	1,33	1,15	1,69	25	C1-S1
3CR	2,43	0,51	0,71	3,42	70	C1-S1
4CR	2,39	0,20	0,44	5,43	90	C1-S1
5CR	3,13	0,26	0,50	6,26	110	C1-S1
6CR	2,04	0,15	0,38	5,36	60	C1-S1
7CR	5,95	0,15	0,70	8,5	250	C1-S1
8CR	2,56	0,21	0,45	5,68	190	C1-S1
9CR	1,74	0,18	0,42	4,14	150	C1-S1
10CR	6,00	0,44	0,66	9,09	150	C1-S1
41	0,50	0,11	0,33	1,51	80	C1-S1
58	0,32	0,25	0,5	0,64	200	C1-S1
62	2,43	0,35	0,59	4,11	100	C1-S1
71	2,21	2,70	1,64	1,34	50	C1-S1
99	0,41	0,13	0,36	1,13	55	C1-S1
100	0,31	0,30	0,54	0,57	85	C1-S1
109	0,13	0,14	0,37	0,35	30	C1-S1
113	0,22	0,42	0,64	0,34	70	C1-S1
119	0,32	0,33	0,57	0,56	70	C1-S1
122	4,30	0,42	0,64	6,7	110	C1-S1
123	0,15	0,11	0,33	0,45	23	C1-S1
130	3,08	1,43	1,19	2,58	150	C1-S1

Agricultura dos Estados Unidos, citados por LOGAN (1965). As amostras foram enquadradas na categoria C1-S1, consideradas boas para irrigação.

#### 5.1.2.3. Uso Industrial

Cada indústria tem suas próprias exigências na especificação das características da qualidade da água. As mais importantes são: sólidos em suspensão, turbidez, resíduo seco, pH, índice de saturação, dureza, macroconstituintes, microconstituintes, gases dissolvidos, anidrido carbônico livre e combinado, oxigênio dissolvido, matéria orgânica, etc.

Para o exame da adequabilidade das águas subterrâneas para o uso nas indústrias da região carbonífera do sul do Estado, adotou-se os critérios de classificação (tabela 23) propostos por LOGAN, J. (1965). A tabela (24) abaixo retrata os resultados obtidos:

- frigoríficos : em 1984 as águas subterrâneas amostradas na área indicam que o teor de ferro atinge 68% das amostras acima dos limites de tolerância e o manganês 39%, no ano de 1990 50% (doze amostras) não apresentaram condições de uso, pois possuem teores de ferro superior a 0,5 mg/l, que é o limite recomendado;

- enlatamento vegetal : o manganês e o ferro ultrapassam

TABELA 23 - TOLERÂNCIAS DE QUALIDADE DA AGUA PARA APLICAÇÕES INDUSTRIAIS SEGUNDO LOGAN. OS VALORES ESTÃO EXPRESSOS EM mg/l EXCETO O pH.

INDÚSTRIA	Dureza	Alcali- nidade	pH	Sólidos Totais	Ca <sup>++</sup>	Fe	Mn
Alimentos em Geral	-	-	-	-	-	0,2	0,2
Cervejaria	-	75-150	6,5-7,0	500-1000	100-50	0,1	0,1
Curtume	50-135	135	8,0	-	-	0,2	0,2
Enlatamento Vegetal	25-75	-	-	-	-	0,2	0,2
Lavanderia	50	-	-	-	-	0,2	0,2
Padaria	-	-	-	-	-	0,2	0,2
Textil	20	-	-	-	-	0,25	0,25

TABELA 24 - ADEQUABILIDADE DA AGUA SUBTERRÂNEA DO MEMBRO  
SIDERÓPOLIS PARA USO INDUSTRIAL.

Indústria	Dureza	Alcali- nidade	pH	Resíduo totais	Ca++	Fe	Mn
	84-90	84-90	84-90	84-90	84-90	84-90	84-90
Frigorífico	-	-	-	-		68%-50%	39%-38%
Enlatamento							
Vegetal	5,2%-16,6%					68%-50%	39%-38%
Alimentos	-	-	-	-		68%-50%	39%-38%
Lavanderia	5% - 12,5%	-	-	-		68%-50%	39%-38%
Textil	15,7%-50%	-	-	-		68%-50%	39%-38%
Curtume	-	-	100%	-		68-50%	39%-38%

os limites aceitáveis de tolerância em 39% e 68% respectivamente, e com relação ao intervalo de dureza estabelecido, indicam que apenas 5,2% não correspondem a adequabilidade prevista; enquanto em 1990 apenas 16,6% das amostras estão fora do padrão quanto à dureza, necessitando de correção e com relação ao manganês e o ferro 38% e 50% das amostras apresentam teores acima do estabelecido;

- alimentos : novamente o ferro e o manganês ultrapassam os limites de tolerância com cerca de 68% e 39% respectivamente, para o ano de 1990 estes elementos ultrapassaram os limites estabelecidos em 68% e 39% respectivamente;

- lavanderia : para este tipo de uso a dureza não deve ultrapassar o limite de 50 mg/l. Das águas analisadas, 5% ultrapassam este valor, e o ferro e o manganês também fogem aos parâmetros com 68% e 39% respectivamente, do total amostrado;

- têxtil : para este tipo de indústria são necessárias águas com dureza muito branda e 15,7% ultrapassam aos limites, necessitando de correção; para o padrão de ferro e manganês requerido 68% e 39% respectivamente, estão fora dos limites, enquanto para as amostras coletadas no ano de 1990 45,8% excedem os limites estabelecidos quanto a dureza e 50% no que tange ao ferro

- curtume : para este tipo de indústria são necessárias

águas com pH 8,0. Das amostras analisadas todas estão fora do padrão e com relação ao ferro e ao manganês, estes também encontram-se fora do limite estabelecido, com 68% e 47% respectivamente, para as de 1990 50% das amostras apresentam teor de ferro acima do estabelecido..

Pelo exposto, as águas subterrâneas do Membro Siderópolis na área pesquisada necessitam de um controle de qualidade no que tange a dureza, pH e principalmente à presença do ferro e do manganês, que encontram-se na maioria dos pontos amostrados, desqualificam estas águas para os perfis de indústrias que se instalam na região carbonífera.

#### 6. Interação Água - Rocha

Segundo CUSTÓDIO e LLAMAS (1976) existem íons que sempre se encontram dissolvidos na água; a soma destes representa a quase totalidade dos íons dissolvidos e sobre eles se dirige a maior parte dos estudos hidroquímicos.

Os íons considerados fundamentais são:

Anions	Cations
Cl <sup>-</sup> - Cloreto	Na <sup>+</sup> - Sódio
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - Sulfato	Ca <sup>++</sup> - Cálcio
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - Bicarbonato	Mg <sup>++</sup> - Magnésio

É muito freqüente incluir como íons fundamentais os ânions

$\text{NO}_3$  (nitrato),  $\text{CO}_3$  (carbonato) e o cátion potássio ( $\text{K}^+$ ), embora geralmente em proporções bem menores. Em algumas situações pode-se considerar o  $\text{Fe}^{++}$ .

Os íons menores formam menos de 1% do conteúdo iônico total e os elementos traços, que são aqueles íons que embora presentes, são difíceis de quantificar por meios químicos.

Para a origem dos cátions e ânions principais, procurou-se direcionar este estudo mais no sentido de compreender as reações existentes entre os minerais e as águas drenantes, do que discutir o ataque químico às rochas, que é complexo e envolve processos de intemperismo (hidrólise, hidratação e oxidação), permitindo desta forma interpretar o aparecimento dos íons maiores.

#### 6.1. Origem dos Cátions

Cálcio - ( $\text{Ca}^{++}$ ) - não existe livre na natureza. Combinado encontra-se em grande abundância. Como carbonato de cálcio encontra-se, entre outros, em rochas calcárias, mármore, aragonita etc. Como sulfato de cálcio encontra-se no gesso. Como fluoreto encontra-se no mineral chamado fluorita e como fosfato na apatita e na fosforita.

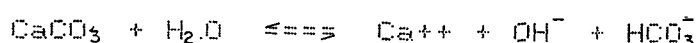
Os sais são moderadamente solúveis a muito solúveis. É muito fácil precipitar como  $\text{CaCO}_3$ . Sua química é muito associada

aos íons, bicarbonatos e carbonatos em muitas águas naturais, podendo precipitar e dissolver com facilidade ao mudar o pH ou a pressão parcial do  $\text{CO}_2$ .

O cálcio é o principal contribuinte da dureza e como tal o seu papel na água potável é comumente mal compreendido. Altas concentrações praticamente não tem nenhum efeito fisiológico adverso, a menos que haja muito cálcio presente, causando um forte gosto salgado. É um elemento essencial ao crescimento das plantas e a sua abundância em água para irrigação tende a reduzir os perigos de um alto teor de sódio.

A presença deste cátion nas águas subterrâneas do Membro Siderópolis têm a sua procedência relacionada com:

- Dissolução das camadas de rochas calcárias que ocorrem na Formação Rio Bonito e do cimento carbonático.Ex:



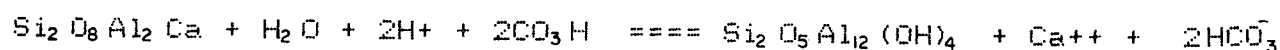
- A água da chuva contém cálcio dissolvido;

- Ataque químico aos arenitos feldspáticos e a outros silicatos cálcicos;

- O processo de ataque à anortita (plagioclásio cálcico):



como produto obtém-se a caolinita HEM (1967). In: CUSTÓDIO e LLAMAS (1976).



Magnésio - ( $\text{Mg}^{++}$ ) - não existe livre na natureza. Encontra-se combinado com o carbonato, constituindo o mineral magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ). Com o sulfato e cloreto forma sais duplos em diversos jazimentos. Os silicatos são comuns, entre os principais: talco ( $\text{Mg}_3\text{H}_2(\text{SiO}_3)_4$ ), asbestos,  $\text{Mg}_3\text{Ca}(\text{SiO}_3)_4$ , serpentina  $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  e olivina  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ .

Encontra-se geralmente nas águas, porém em quantidades muito menores do que o cálcio. Sua importância biológica é grande, já que é indispensável no desenvolvimento de certos sistemas enzimáticos, atuando igualmente na constituição dos ossos.

A concentração varia entre 100 mg/l em águas doces, podendo chegar as vezes a alguns milhares de ppm em águas salinas. Possui propriedades laxantes e dá sabor amargo se ocorrem algumas centenas de ppm. Contribui na dureza da água e com pH elevado pode dar  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  incrustante.

O magnésio é essencial ao crescimento das plantas porque é um importante constituinte da clorofila.

A origem do magnésio nas águas subterrâneas em estudo está relacionada:

- com a dissolução das camadas de rochas calcáreas dolomíticas  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  ;

- ataque aos minerais silicatados que possuem magnésio na estrutura cristalina. A presença de soleiras e diques de diabásios na região contribui também para a origem do Mg.

Sódio - ( $\text{Na}^+$ ) - não se encontra livre na natureza. Solubilidade muito elevada e muito difícil de precipitar. é afetado facilmente pela troca de bases. Pode estar associado ao íon  $\text{Cl}^-$ , embora nem sempre ocorra assim. Na natureza encontra-se em grande abundância em rochas constituídas por silicatos complexos ( feldspatos, ortoclásio e outros ). As vezes ocorre em grande quantidades, em forma de sulfatos, nitratos, cloretos, carbonatos, etc.

Na água doce as concentrações variam entre 1 e 150 mg/l, não sendo raro encontrar concentrações muito maiores, até várias centenas de ppm. A quantidade de sódio não é um critério para definir a potabilidade da água para pessoas saudáveis, podendo causar um gosto bastante salgado e desagradável, antes de atingir concentrações com significação fisiológica.

Nas águas de irrigação o conteúdo de sódio é extremamente

crítico, principalmente nas águas que estão sendo utilizadas em solos de textura argilosa, neste caso o íon sódio poderá reagir com materiais de permuta existentes, podendo transformar-se no cátion predominante tornando-os impróprios para o uso. Um solo com bastante sódio permutável é chamado de alcalino. Ele pode ser caracterizado por uma cultura pobre, baixo conteúdo de ar e permeabilidade pobre.

A origem do sódio nas águas subterrâneas na área de estudo esta relacionada com:

- Ataque aos minerais silicatados (feldspatos e plagioclásios calco-sódicos) que compoem o pacote sedimentar da Formação Rio Bonito;

- Intercâmbio iônico com os sedimentos argilosos;

- Concentração na água de chuva.

Potássio - ( $K^+$ ) - o potássio não se encontra livre na natureza. Possui solubilidade muito elevada e é difícil de precipitar. É afetado facilmente pela troca de bases e é absorvido de forma muito pouco reversível pelas argilas em formação (parte de montmorillonita e illita) para formar parte de sua estrutura, circunstância que o diferencia notavelmente do  $Na^+$ . Por isto, apesar da abundância do potássio ( $K^+$ ) em muitas rochas, tem muito menos deste elemento que o sódio.

A concentração de potássio em água doce está entre 0,1 e 10 mg/l. Eventualmente pode ter algumas centenas de ppm. Raramente tem efeito na fisiologia humana. É essencial ao crescimento das plantas e é comumente adicionado à terra como fertilizante.

- A origem deste cátion é semelhante à do sódio.

## 6.2. Origem dos Ânions

Cloreto - ( $\text{Cl}^-$ ) - o íon cloro ocorre em todas as águas naturais em quantidades variáveis e, sendo muito estável em dissolução, dificilmente precipita, não oxidando nem reduzindo-se nas águas naturais. Em geral vem acompanhado com o sódio, em especial em águas muito salinas. Porém, o número de milequivalentes de ambos os íons não é necessariamente igual. Altas concentrações de cloretos impedem o crescimento da maioria das culturas e até mesmo quantidades moderadas são tóxicas para algumas delas.

A origem deste cátion nas águas subterrâneas em estudo pode estar relacionada a:

- Concentração na água da chuva e no terreno percolado pelas águas infiltrantes;

- Ataque às rochas, contudo o aporte é pequeno por ser um

elemento raro na estrutura cristalina dos minerais.

Sulfato - ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) - é um dos íons que contribui para a salinidade das águas. Encontra-se na maioria das águas naturais. Algumas não o contém e outras chegam a ter 2.000 miligramas por litro, dependendo principalmente dos terrenos que foram drenados.

Nos sedimentos de água potável ele não deve exceder a 250 mg/l. Água contendo mais de 500 mg/l provavelmente terá efeitos laxativos, quando utilizada pela primeira vez.

Os sulfatos de cálcio e de magnésio contribuem para a dureza da água, constituindo-se a dureza permanente.

O íon sulfato encontra-se dissolvido na água devido a sua estabilidade e resistência à redução. Sua presença é incompatível com a dos metais pesados devido aos valores do produto de solubilidade de seus sais serem muito baixos, contribuindo eficazmente para diminuir a toxicidade.

Nos solos o principal efeito do sulfato é aumentar a sua salinidade. O íon sulfato é importante para nutrição das plantas e deve estar presente em todos os suprimentos d'água para irrigação mas, em quantidades elevadas, pode vir a ser prejudicial para as mesmas.

O sulfato das águas subterrâneas contido na Formação Rio

Bonito pode proceder:

- Das águas das chuvas na região de Siderópolis. O íon sulfato encontra-se em concentrações mais elevadas em face ao processo de auto-combustão dos rejeitos piritosos e a outros fatores decorrentes da mineração do carvão;

- Oxidação dos minerais sulfetados (pirita e marcassita) que encontram-se associados com as camadas de carvão;

- A presença de minerais sulfetados nos corpos de diabásio (pirita  $\text{FeS}_2$ , calcopirita  $\text{CuFeS}_2$ ) que ocorrem na região que oxidando-se, contribuem com um pequeno percentual destes elementos em solução na água subterrânea.

Bicarbonatos e Carbonatos - ( $\text{HCO}_3^-$  -  $\text{CO}_3^{2-}$ ) - existe uma profunda relação entre o  $\text{CO}_2$  gás,  $\text{CO}_2$  dissolvido,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  e pH. Estes íons comunicam alcalinidade à água no sentido de darem capacidade de consumo do ácido ao criar uma solução tampão. Não são nem oxidados e nem reduzidos em águas naturais.

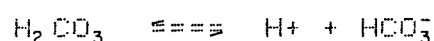
O íon bicarbonato varia entre 50 e 350 mg/l em água doce podendo chegar as vezes até 800 mg/l. A água do mar tem ao redor de 100 mg/l. O bicarbonato é o ânion predominante na maioria das águas boas para irrigação. O conteúdo do mesmo existente em uma água é de grande importância na avaliação de sua adequabilidade para fins de irrigação.

Em quantidades normais o bicarbonato é provavelmente de pouca importância na nutrição da planta porém, a altas concentrações pode causar clorose induzida.

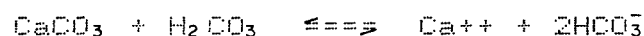
O íon carbonato está em concentrações muito menores do que o íon bicarbonato e quando o pH é < 8,3 considera-se zero. Em águas alcalinas com pH > 8,3 pode haver quantidades importantes até 50 ppm em algumas águas naturais.

Em água potável um excesso de 300 mg/l de íons de carbonato não pode ser tolerado, apesar de que tais quantidades são raras.

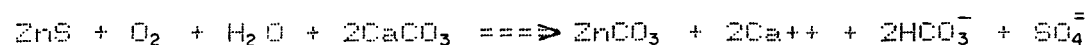
- Dissolução do CO<sub>2</sub> atmosférico nas camadas de solo; Ex.



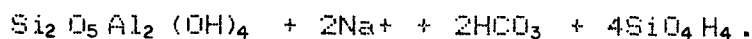
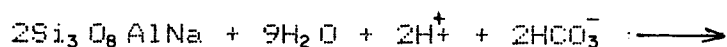
- Dissolução da camadas de calcáreo, segundo a reação que pode ser expressa da seguinte forma:



- Oxidação de minerais sulfetados;



- Hidrólise de minerais silicatos.



## 7. - Interpretações dos Mapas de índices Hidroquímicos

CUSTÓDIO e LLAMAS (1976) explicam os fatores que modificam a qualidade da composição química das águas subterrâneas que ocorrem no interior do aquífero, através do estudo das relações hidroquímicas.

O estudo das relações hidroquímicas permite inferir observações quanto a evolução qualitativa da composição química das águas subterrâneas (tabela 25).

As relações e as características hidroquímicas da água subterrânea da área de estudo esta relacionada com a intensa atividade de lavra e beneficiamento de carvão (figura 47 anexo 3), destacando-se as seguintes unidades:

Mina Beluno (inativa): depósitos de rejeitos sólidos e presença de lagoas ácidas das Minas Siderópolis e Morozini;

Mina Volta Redonda : desativada, com subsidência, do teto, ocasionando rachaduras em superfície;



TABELA 25 - RESULTADOS DAS RELAÇÕES DOS ÍNDICES HIDROQUÍMICOS  
NA ÁGUA SUBTERRÂNEA DO MEMBRO SIDERÓPOLIS.  
AMOSTRAGEM 1984 (meq/l)

AMOSTRA	Mg <sup>++</sup> /Ca <sup>++</sup>	K <sup>+</sup> /Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup> /HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> /Cl <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup> -(Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> )	Cl <sup>-</sup> +SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup> /Ca <sup>++</sup>
					Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>++</sup> +Mg <sup>++</sup>	
18	0,30	0,02	0,09	13,54	-12,95	1,36	0,78	1,00
27	3,64	0,33	-	18,58	0,77	-	0,08	0,30
40	1,6	0,14	2,12	0,81	0,20	3,84	1,43	3,26
41	0,75	0,17	1,17	0,66	-1,03	1,95	2,61	3,9
58	0,69	4,11	1,40	0,50	0,22	2,11	0,82	0,27
59	4,95	0,24	-	144,50	-1,85	-	0,07	0,36
63	0,11	0,11	-	60,71	-1,26	-	0,05	0,05
64	0,16	0,02	0,08	3,08	-5,83	0,33	0,65	0,74
71	0,84	0,09	0,64	0,11	0,33	0,71	0,50	0,84
91	1,23	0,08	1,27	0,10	0,10	1,40	0,65	1,35
99	1,21	0,23	4,62	0,72	-0,13	8,00	1,00	1,78
100	0,51	0,21	-	5,12	-0,55	-	0,34	0,42
111	5,40	0,38	3,61	0,23	-0,23	4,46	1,81	8,4
113	1,20	0,40	3,90	0,35	0,20	5,30	0,93	1,46
114	2,36	0,27	3,70	0,16	0,37	4,30	0,62	1,63
118	1,40	0,14	-	62,42	-1,85	-	0,06	0,12
119	0,88	0,20	0,63	1,57	0,14	1,63	0,20	0,31
123	1,85	0,30	2,90	0,13	0,41	3,30	0,85	1,85
130	1,44	0,15	3,40	0,08	0,32	3,70	1,04	2,22

Mina Esperança : pré-lavador, depósitos de rejeitos sólidos e as lagoas de decantação;

Minas a céu-aberto : Forquilha e Rio Pio.

#### 7.1. - Relação $rMg^{++}/rCa^{++}$

A relação  $rMg^{++}/rCa^{++}$  varia freqüentemente entre 0,3 a 1,5. Valores próximos a 1 indicam a possível influência de terrenos dolomíticos, enquanto que valores superiores a 1 podem estar relacionados com terrenos ricos em silicatos magnesianos, como gabros e basaltos. A precipitação de  $CaCO_3$  em uma água aumenta a relação  $rMg^{++}/rCa^{++}$ , sem que isto indique porém, a contribuição de  $Ca^{++}$  dos terrenos percolados. Em caso de dissolução de rochas calcáreas ocorre obviamente o contrário.

Na área em questão os valores da relação variam de 0,11 a 5,4 (figura 48, anexo 3), sendo que 68,4% dos valores estão entre os limites estabelecidos. Os intervalos superiores a 1,00 localizam-se próximos aos depósitos de rejeitos e junto as falhas tectônicas. Com relação ao primeiro caso pode estar ocorrendo uma precipitação de  $CaSO_4 \cdot nH_2O$  (gesso), conseqüentemente há aumento na relação  $rMg^{++}/rCa^{++}$ . O aumento da relação iônica junto as falhas deve-se ao fato de que estas estão preenchidas por argilas e percoladas pelas águas subterrâneas, ocorrendo o processo do intercâmbio iônico do  $Na^+$  pelo  $Ca^{++}$  de forma mais acentuada.

## 7.2. - Relação $rCl^-/rHCO_3^-$

O conteúdo de  $HCO_3^-$  é relativamente constante nas águas subterrâneas e a relação  $rCl^-/rHCO_3^-$  é importante para observar o processo de concentração de sais no sentido do fluxo subterrâneo, embora essa concentração provoque um ligeiro aumento no denominador. Um aumento na relação indica um avanço no processo de enriquecimento. Esta relação torna-se inadequada quando ocorrem fenômenos de redução de sulfatos ou aportes de  $CO_3^{2-}$ , aumentando o conteúdo de  $HCO_3^-$ . A precipitação do  $CaCO_3$  também pode influir. Os valores desta relação para as águas superficiais situam-se entre 0,1 a 5.

Os resultados obtidos para esta relação neste trabalho, indicam valores que variam de 0,00 a 14,04, sendo que 93,7% do total dos pontos amostrados estão compreendidos nos limites estabelecidos.

Na figura 48 (anexo 3) nota-se um forte contraste na relação iônica  $rCl^-/rHCO_3^-$  onde o domínio do íon  $Cl^-$  sobre o íon  $HCO_3^-$  é marcante, pois este ocorre em pequenas concentrações nas águas subterrâneas da região. Nas proximidades dos depósitos de rejeitos piritosos as águas superficiais que se infiltram apresentam pH ácido, ocasionando diminuição na concentração do íon bicarbonato.

### 7.3. - Relação $rK^+/rNa^+$

A relação  $rK^+/rNa^+$  pode variar entre 0,001 e 1, sendo mais frequente entre 0,004 e 0,3. SCHOELLER (1956).

Devido a fixação preferente do  $K^+$  ao terreno, esta relação é menor na água do que na rocha e será menor quanto mais concentrada em sais for esta água.

A relação  $rK^+/Na^+$  na área de interesse mostrou uma variação de 0,02 a 4,11, com 94,7% das amostras compreendidas nos limites estabelecidos. Estes resultados comprovam que o íon  $K^+$  é facilmente fixado pelos sedimentos argilosos e uma maior mobilidade do íon  $Na^+$  na água.

### 7.4. - Relação $rNa^+ + K^+/rCa^{++} + Mg^{++}$

A figura 49 (anexo 3) mostra a relação  $rNa^+ + K^+/rCa^{++} + Mg^{++}$  onde observa-se redução na relação iônica quanto mais próximo dos depósitos de rejeitos piritosos. A redução da relação é decorrente do aumento da concentração em cálcio e magnésio nas águas subterrâneas devido a dissolução de rochas dolomíticas para neutralizar o pH.

### 7.5. - Relação $rCl^- - (rNa^+ + Cl^-)/rCl^-$

A relação  $rCl^- - r(Na^+ + Cl^-)/rCl^-$  denominada índice de

Troca de Bases, é um dos fenômenos que mais influem na modificação da composição química da água, principalmente em determinados íons, como o  $\text{Na}^+$  e o  $\text{K}^+$ . O valor do i.t.b. (índice de troca de bases) nas águas subterrâneas pode ser positivo ou negativo, em geral próximo a zero. Se ocorrer um abrandamento (troca de  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{Mg}^{++}$  por  $\text{Na}^+$ ) seu valor tende a diminuir, entretanto se houver um endurecimento tende a crescer. Assim o i.t.b. não é definido por um valor absoluto e sim por uma variação.

O i.t.b. na área de estudo varia de -13,3 a +0,77. Observa-se na figura 49 (anexo 3) que nos pontos próximos e juntos dos depósitos de rejeitos piritosos, este índice assume valores negativos, caracterizando nestas áreas a troca do  $\text{Na}^+$  e do  $\text{K}^+$  pelo  $\text{Ca}^{++}$ .

#### 8. - Interpretações dos Mapas Hidroquímicos

Com o objetivo de se obter uma melhor compreensão da composição química de cada ponto das águas subterrâneas, em relação ao contexto geral do aquífero do Membro Siderópolis, foram elaborados mapas hidroquímicos para as amostras coletadas no ano de 1984 e 1990, na escala 1:50.000.

O mapa de percentual de ânions e cátions dos elementos maiores ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{HCO}_3^-$ ) representa a concentração relativa destes elementos, expressos em percentagem

de miliequivalentes totais. Estes mapas não permitem determinar a composição quantitativa em meq/l da água subterrânea, todavia permitem obter uma idéia do tipo de água que está sendo utilizada em termos de percentuais de ânions e cátions.

Os elementos químicos analisados nas amostragens de 1984 e 1990 apresentaram um mesmo comportamento hidroquímico, conseqüentemente os mapas hidroquímicos tomaram uma morfologia similar, permitindo desta forma apenas um comentário.

A distribuição do íon bicarbonato no aquífero do Membro Siderópolis observa-se uma diminuição na concentração do bicarbonato em direção aos locais onde se encontram as lagoas ácidas e os depósitos de rejeitos provenientes da mineração do carvão.

Os pontos amostrados próximos a estes locais revelaram valores de  $\text{pH} < 4$  e o bicarbonato em presença de soluções de  $\text{pH} < 4,3$  não ocorre, podendo-se encontrar nestas águas ácido carbônico livre.

Nas águas subterrâneas contidas no Membro Siderópolis ocorre um aumento na concentração do íon sulfato em direção as áreas onde estão localizados os depósitos de rejeitos carbonosos e efluentes líquidos. Este aumento da concentração se deve principalmente a infiltração de águas ácidas que percolaram os depósitos de rejeitos piritosos (figuras 50 e 51, anexo 3).

O caráter ácido das águas subterrâneas do Membro Siderópolis provoca a neutralização das bases (  $\text{pH} < 4,3$  não há bicarbonato LAFUENTE, J.C (1969). Conseqüentemente, permanecem em solução os íons cálcio e magnésio. Esta situação é gerada pelo fato de que não existem condições hidroquímicas de precipitar bicarbonatos, carbonatos de cálcio e magnésio. Dos mapas hidroquímicos do cálcio e do magnésio, pode-se observar que ocorre uma maior concentração em solução destes íons em direção aos depósitos de rejeitos da mineração do carvão e das lagoas ácidas (figuras 52 e 53, anexo 3).

Com base nas observações dos mapas hidroquímicos dos íons sódio e cloreto, constata-se que os mesmos tem amplas distribuições no aquífero em estudo. Com relação as concentrações destes elementos, verifica-se nas figuras (50 a 53) diminuição destes elementos em direção aos locais onde estão depositados os rejeitos carbonosos e as bacias de efluentes líquidos. A redução da concentração do íon  $\text{Na}^+$  e do íon  $\text{Cl}^-$  é decorrente das inúmeras modificações físico-químicas que se processam nas águas subterrâneas desta região e a principal é o aumento da concentração do íon hidrogênio, imprimindo-lhe um caráter ácido, facilitando desta forma reações com os sais em solução, produzindo um outro sal (precipitado) e um outro ácido. Conseqüentemente, há uma diminuição na concentração dos íons sódio e cloreto.

Com relação aos pontos amostrados n<sup>os</sup> 40 e 41 (1984),

constata-se que ocorre um aumento na concentração do  $\text{Na}^+$  e uma diminuição na concentração dos íons  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{Mg}^{++}$ , decorrência da troca do  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{Mg}^{++}$  pelo  $\text{Na}^+$ .

- pH - Na área de estudo verifica-se que os valores do pH das águas subterrâneas são mais baixos nas imediações dos depósitos de rejeitos provenientes da mineração do carvão mineral. O ácido sulfúrico, proveniente da oxidação da pirita, é o principal responsável pelo baixo valor do pH nas águas da região (figuras 54 e 55, anexo 3).

Nas mesmas figuras pode-se observar que as maiores concentrações de acidez ocorrem em direção das áreas próximas aos locais onde foram depositados os rejeitos da mineração do carvão. Nas proximidades da cidade de Siderópolis os valores da acidez apresentam-se mais altos, em face da grande extensão do depósito e da sua disposição sobre a superfície, influenciando diretamente na qualidade das águas subterrâneas. Nas imediações do Distrito de Treviso verifica-se que as águas subterrâneas apresentam valores de acidez mais baixos contudo, são preocupantes no que tange à manutenção da qualidade das águas.

Resíduo Seco - Em direção ao norte da área os valores do resíduo seco variam de 61,4 a 1380,4 mg/l. Estes valores correspondem ao alto grau de lixiviação dos depósitos de rejeitos carbonosos pelas águas superficiais que se infiltram pelas camadas do solo pouco espesso, incorporando-se ao nível



freático e ocasionando um aumento no conteúdo salino das águas.

**Condutividade elétrica** Os valores da condutividade das águas na área de estudo são um reflexo da influência direta do processo de contaminação proveniente da mineração do carvão. Os valores mais elevados situam-se próximos aos depósitos de rejeitos e das lagoas ácidas.

Nas (figuras 56 e 57, anexo 3) pode-se verificar o comportamento destes parâmetros acima mencionados.

#### 9. - Diagnóstico das Variações Hidroquímicas Observadas nas Campanhas de 1984 e 1990.

Nas figuras 58 a 63 verifica-se variação na concentração iônica nos pontos amostrados em 1984 e 1990. Supõe-se que esta variação esteja vinculada principalmente a intensa precipitação que ocorreu na região no ano de 1983, cuja média foi de 212 mm. No ano de 1990 a média foi de 124 mm.

A intensa lixiação dos depósitos de rejeitos carbonosos, promovido pelo volume de água precipitada no ano de 1983 quando comparado com os dados de precipitação em 1990 alterou significativamente o tipo químico da água subterrânea do Membro Siderópolis.

O conteúdo salino nas águas subterrâneas desta unidade

# AMOSTRAS

A	27	E	59
B	40	F	62
C	41	G	64
D	58	H	71

## DIAGRAMA DE ANÁLISES DE ÁGUAS

AMOSTRAGEM : 1984

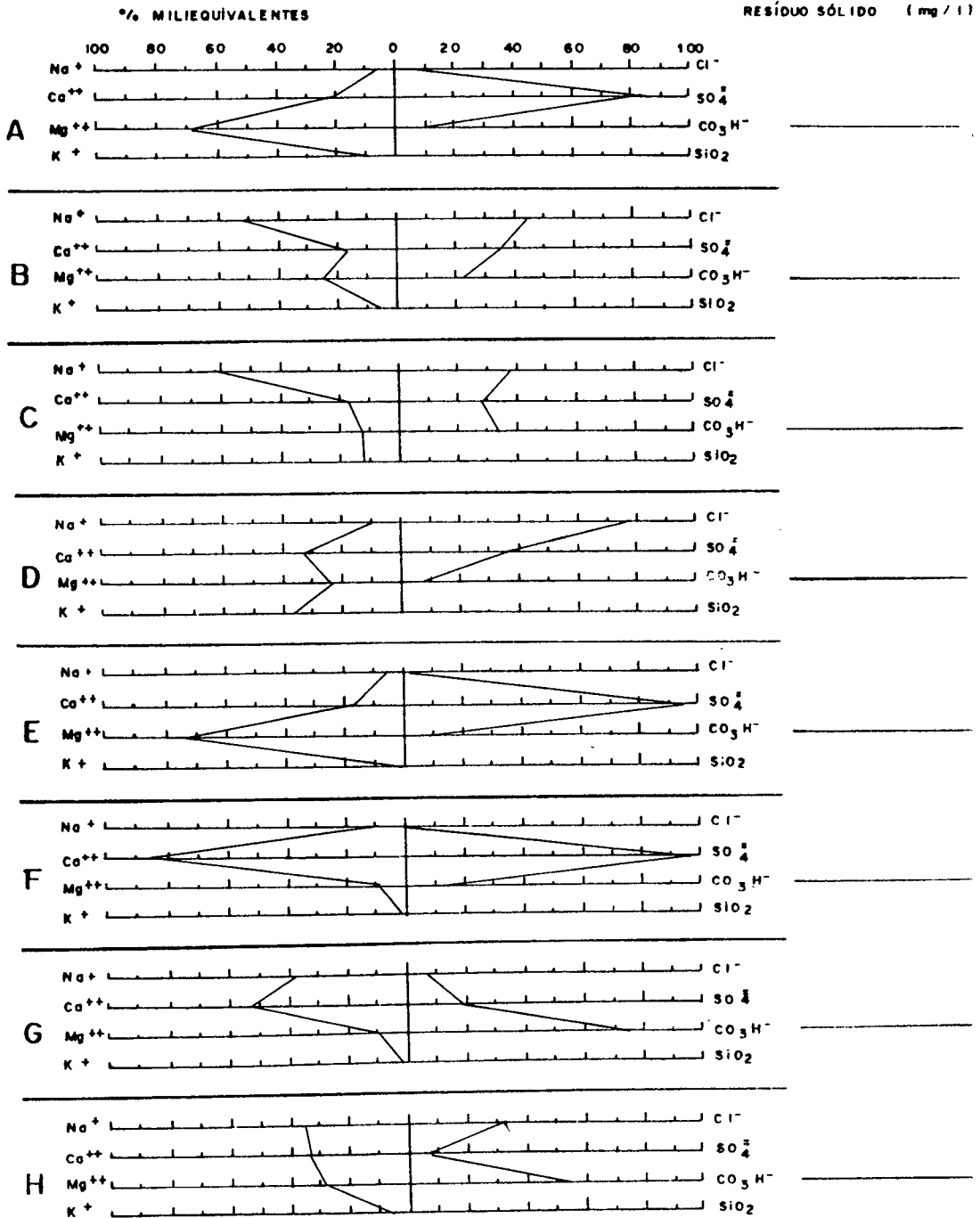


Fig. 58 - Diagramas de Análises de Água , segundo Stiff.  
Expresso em Porcentagem de meq/l.

# AMOSTRAS

A 91 E 113  
 B 99 F 114  
 C 100 G 118  
 D 111 H 119

## DIAGRAMA DE ANÁLISES DE ÁGUAS AMOSTRAGEM 1984

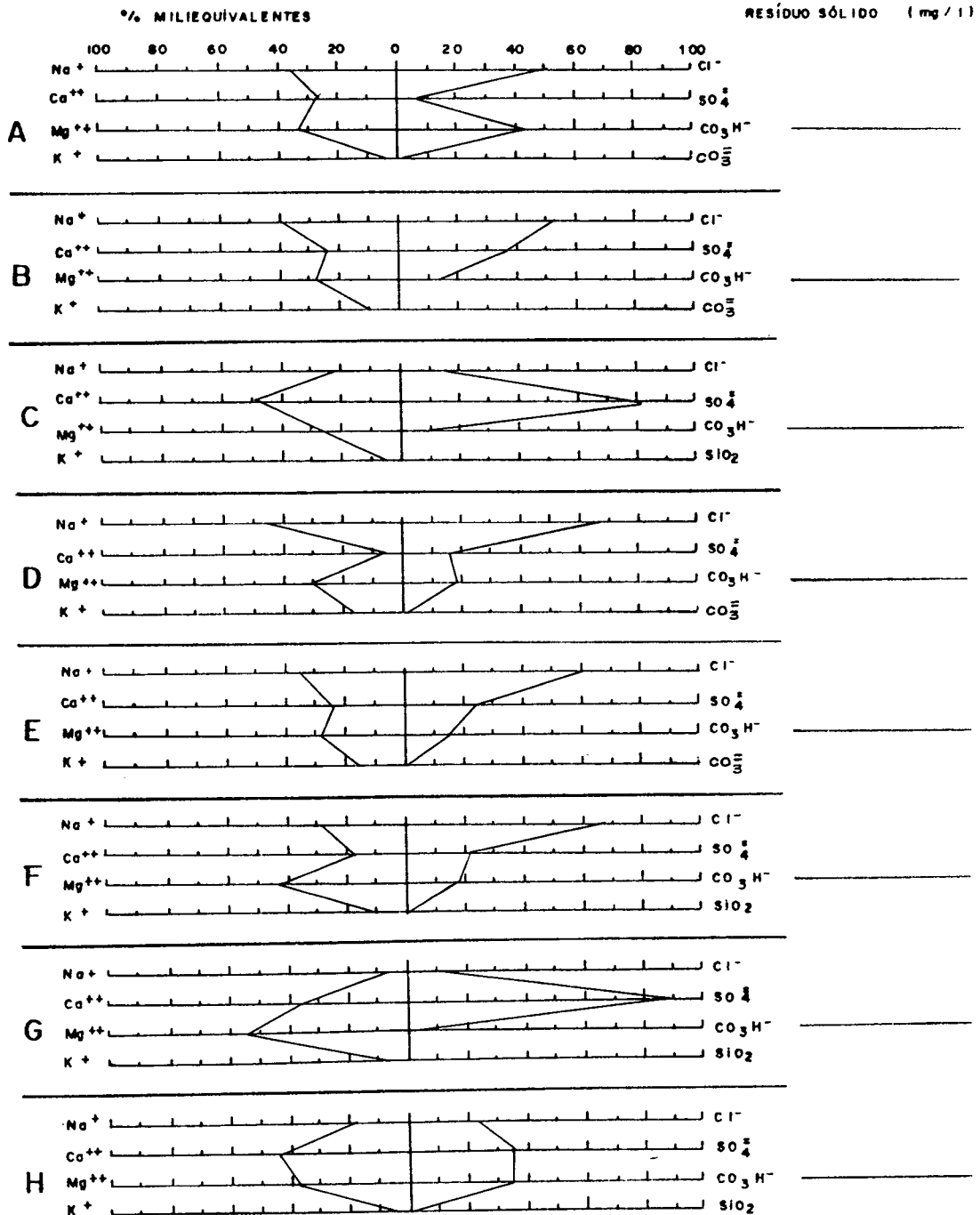


Fig. 59 - Diagramas de Análises de Água, segundo Stiff.  
 Expresso em Porcentagem de meq/l.

# AMOSTRAS

A 123 E  
B 130 F  
C G  
D H

## DIAGRAMA DE ANÁLISES DE ÁGUAS

AMOSTRAGEM 1984

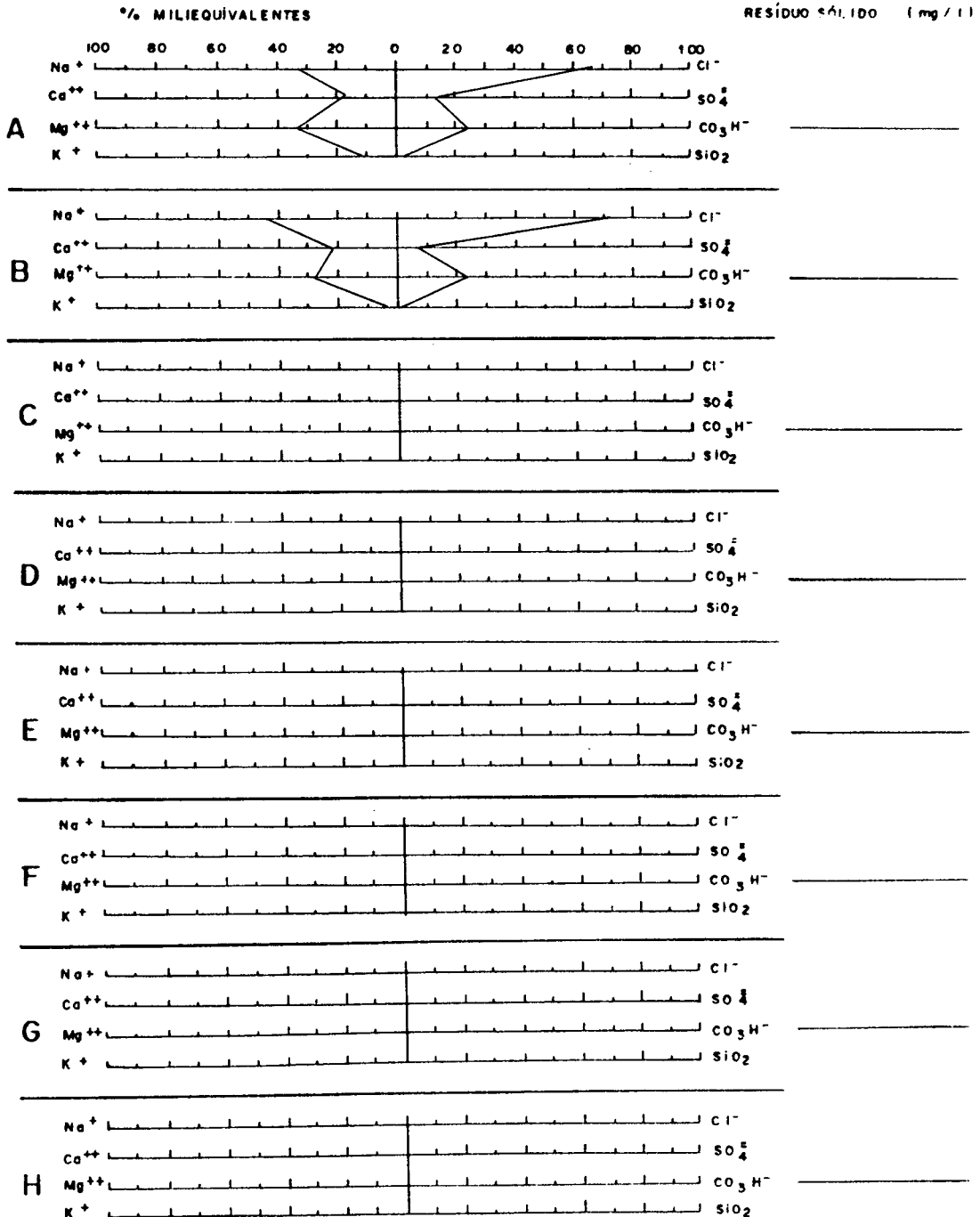


Fig. 60 - Diagramas de Análises de Água, segundo Stiff.  
Expresso em Porcentagem de meq/l.

# AMOSTRAS

A 123 E  
B 130 F  
C G  
D H

## DIAGRAMA DE ANÁLISES DE ÁGUAS

AMOSTRAGEM 1984

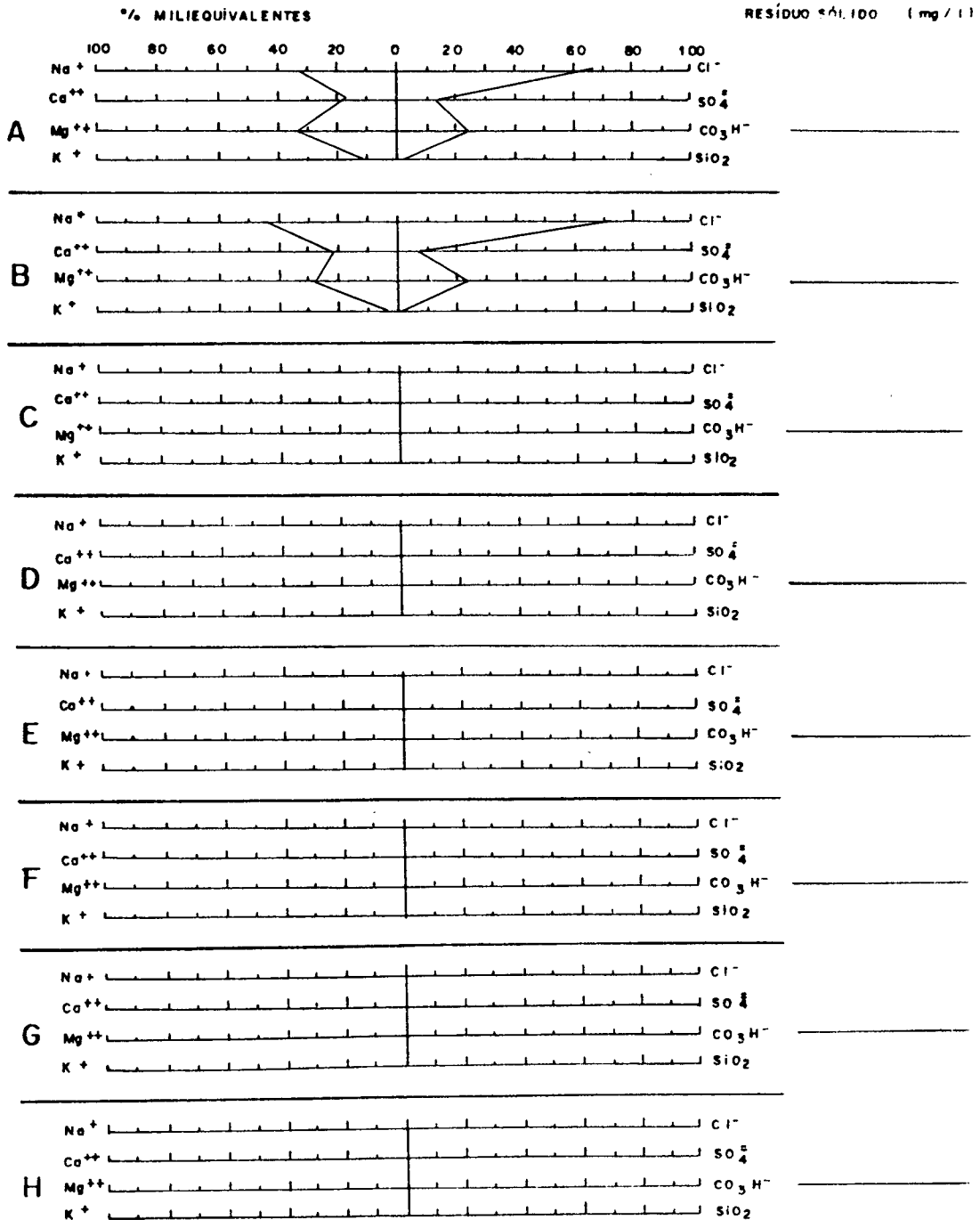


Fig. 60 - Diagramas de Análises de Água , segundo Stiff.  
Expresso em Porcentagem de meq/l.

# AMOSTRAS

A ..... 1 ..... E ..... 5 .....  
 B ..... 2 ..... F ..... 6 .....  
 C ..... 3 ..... G ..... 7 .....  
 D ..... 4 ..... H ..... 8 .....

## DIAGRAMA DE ANÁLISES DE ÁGUAS

AMOSTRAGEM 1990

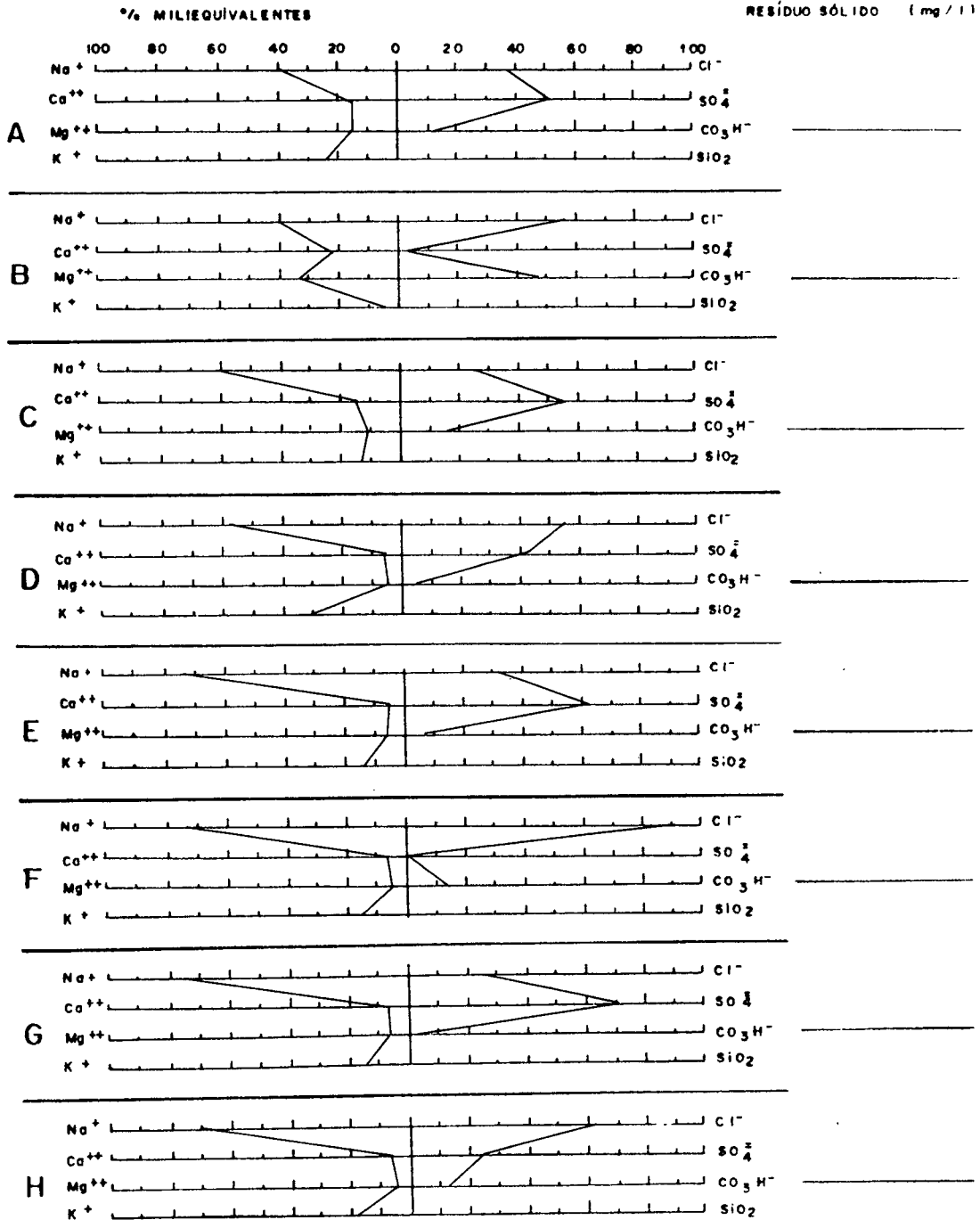


Fig. 61 - Diagramas de Análises de Água, segundo Stiff.  
 Expresso em Porcentagem de meq/l.

# AMOSTRAS

A	9	E	47
B	10	F	58
C	27	G	62
D	41	H	71

## DIAGRAMA DE ANÁLISES DE ÁGUAS

AMOSTRAGEM 1990

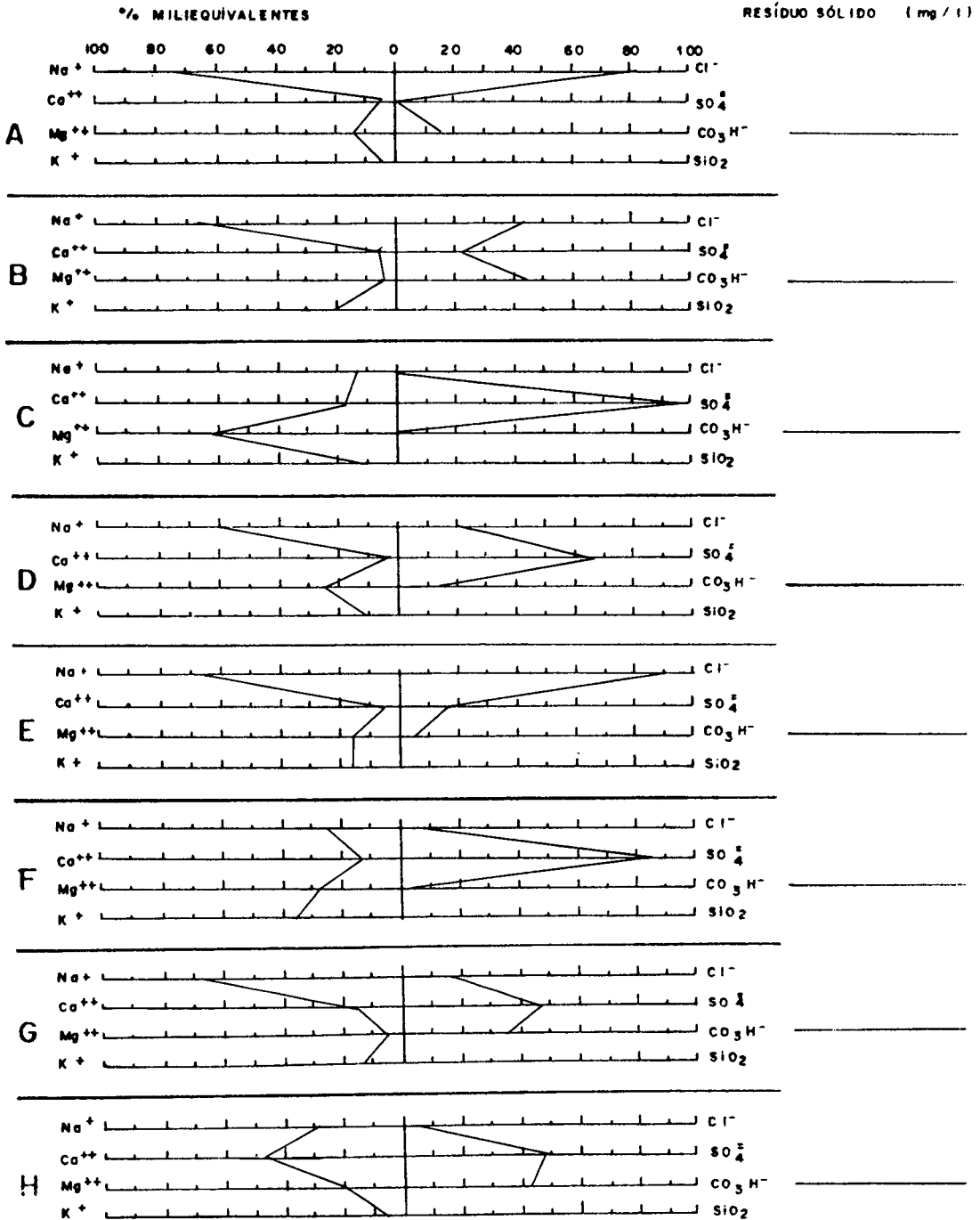


Fig. 62 - Diagramas de Análises de Água , segundo Stiff.  
Expresso em Porcentagem de meq/l.

# AMOSTRAS

A	99	E	119
B	100	F	122
C	109	G	123
D	113	H	130

## DIAGRAMA DE ANÁLISES DE ÁGUAS

AMOSTRAGEM 1990

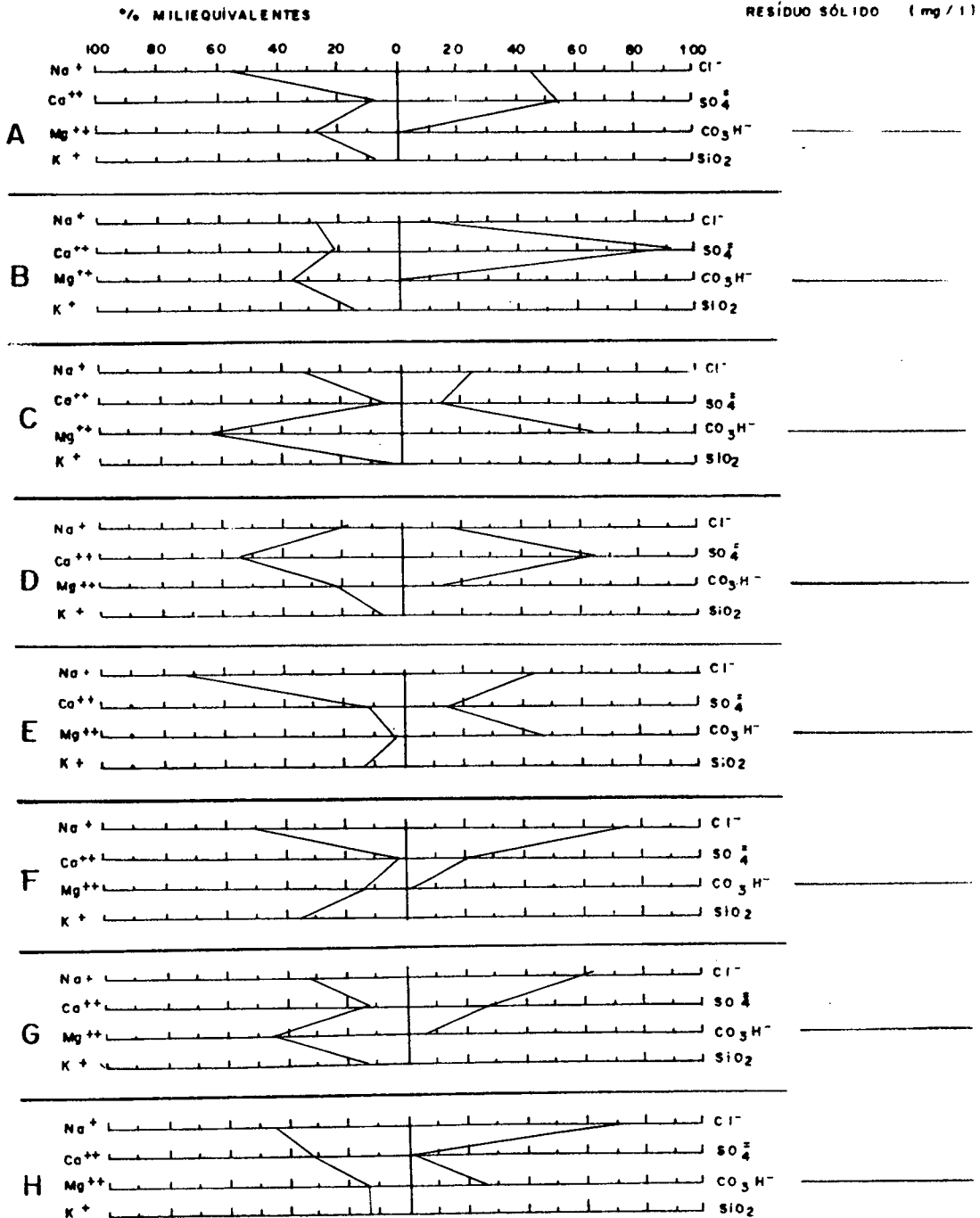


Fig. 63 - Diagramas de Análises de Água, segundo Stiff.  
Expresso em Porcentagem de meq/l.



pode estar diretamente relacionado com o ciclo hidrológico, características das áreas de recarga e a profundidade do nível estático (figura 64, anexo 3).

#### 10. - Avaliação do Grau de Poluição das Águas Subterrâneas do Membro Siderópolis

A mineração do carvão, principalmente a lavra a céu aberto, ocasionou a remoção da cobertura vegetal da camada de solo e do pacote rochoso estéril, e alguns casos atingiu o nível estático. Esta situação gerou condições favoráveis à infiltração da carga através do solo. Nas regiões onde ocorre a lavra subterrânea, os depósitos de rejeitos foram colocados em baixios topográficos sem qualquer critério para impedir a infiltração dos efluentes líquidos, embora nestas áreas a existência de uma camada de solo atenua a concentração da carga poluente.

Para o estabelecimento dos respectivos usos das águas, foram adotados os padrões máximos recomendáveis utilizados pela Environmental Protection Agency EPA (1981), Drinking Water Standards (1962) e por LOGAN, J. (1965), conforme tabela 26.

Para este estudo foram utilizados dados analíticos de 26 (vinte seis), amostras de água de poços escavados e vertentes naturais, coletadas no ano de 1990 e de 18 (dezoito) amostras coletadas no ano de 1984 (Anexo 2).

Comparando os resultados das análises (tabela 27) consta-

TABELA 26 - FATORES INDICATIVOS DE CONTAMINAÇÃO DE AGUA  
EPA, DRINKING WATER STANDARDS E LOGAN

ELEMENTO		LIMITES MAXIMOS RECOMENDAVEIS		
		Abastecimento Público	Vida Aquática	Irrigação
pH	(1)	5,0 a 9,0	6,5 a 8,5	4,5 a 9,0
Acidez		20 mg/l CaCO <sub>3</sub>	-	-
Condutividade	(4)	750 µS/cm	-	-
Resíduo Seco	(1)	500 mg/l	-	-
Cloretos	(1)	250 mg/l	20 mg/l	100 mg/l
Sulfatos	(2)	250 mg/l	-	20 mg/l
Dureza	(2)	250 mg/l	-	-
Ferro	(2)	0,3 mg/l	0,3 mg/l	5 mg/l
Manganês	(1)	0,05 mg/l	-	-
Mercurio	(1)	0,05 mg/l	-	-
Cobre	(1)	1,0 mg/l	0,02 mg/l	0,2 mg/l
Chumbo	(1)	0,05 mg/l	0,03 mg/l	0,1 mg/l
Zinco	(1)	5,0 mg/l	0,03 mg/l	2,0 mg/l
Níquel	(1)	0,2 mg/l	0,025mg/l	0,2 mg/l
Cromo	(1)	0,03 mg/l	0,05 mg/l	0,05mg/l
Cádmio	(1)	0,01 mg/l	0,0004 mg/l	0,01mg/l
Cobalto		0,01 mg/l	-	-

(1) - EPA (1972), in FUNDACENTRO/IESA (1983)

(2) - DRINKING WATER STANDARDS (1962), in CUSTÓDIO e LLAMAS (1976)

(4) - LOGAN, J. (1965)

TABELA 27 - AVALIAÇÃO DO GRAU DE CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA  
SUBTERRÂNEA DO MEMBRO SIDERÓPOLIS.  
AMOSTRAGEM 1984 - 1990

Elemento	Consumo Humano				Vida Aquática				Irrigação			
	No Padrão		Fora Padrão		No Padrão		Fora Padrão		No Padrão		Fora Padrão	
Ano	84	90	84	90	84	90	84	90	84	90	84	90
Cádmio	18	24	-	2	-	13	18	13	18	24	-	2
Chumbo	11	23	7	3	11	21	7	5	18	26	-	-
Cobre	18	26	-	-	14	22	4	4	18	26	-	-
Cromo	15	22	3	4	15	22	3	4	15	22	3	4
Ferro												
Total	8	13	11	13	8	13	11	13	13	21	5	5
Manganês	4	11	14	15	-	9	18	17	-	9	18	17
Mercurio	-	11	-	15	-	9	-	17	-	9	-	17
Níquel	14	25	4	1	14	13	4	13	14	25	4	1
Zinco	17	-	1	26	9	15	11	11	15	26	-	-

ta-se que o uso das águas para o consumo humano, para vida aquática e para irrigação, apresentam restrições quanto ao uso em função da presença de metais pesados em solução.

Correlacionando os valores obtidos com os limites máximos recomendáveis, verifica-se que as águas subterrâneas apresentam incidência considerável de manganês, ferro, cádmio, mercúrio e zinco e no decorrer do tempo aumentaram o grau de concentração.

Estes elementos encontram-se nas águas naturais ou tem a sua origem vinculada na lavagem por parte das águas de chuvas sobre os depósitos de rejeitos carbonosos, carreando estes metais para os aquíferos e ocasionando a contaminação destes.

#### 11. - Características Físico-Químicas das Águas Subterrâneas do Membro Paraguaçu

Devido as condições de construção dos poços tubulares não foi possível coletar e analisar a água subterrânea contida nesta unidade, contudo é uma litologia (siltico-argilosa) que influi na qualidade da água subterrânea do Membro Triunfo através do parâmetros hidrodinâmicos: transmissividade, porosidade e permeabilidade; do tempo de percolação, da velocidade e de suas características químicas.

#### 12. - Características Físico-Químicas da Água Subterrânea do Membro Triunfo

### 12.1. - Generalidades

O estudo da evolução hidroquímica das águas subterrâneas deste membro fica prejudicado em razão da falta de dados completos dos poços tubulares profundos tais como: coordenadas U.T.M., cotas topográficas, cota do nível estático e do nível dinâmico, perfis geológicos e níveis de entrada de água. Fixamo-nos então, apenas no estudo da composição química, uma vez que são conhecidos os resultados completos das análises.

As análises físicas, físico-químicas e químicas das águas subterrâneas ( anexo 2) foram obtidas a partir de 8 (oito) poços profundos, que penetraram totalmente e, alguns poços a penetração foi parcial no Membro Triunfo. Estas análises revelaram que as águas subterrâneas desta unidade apresentam as seguintes características:

O pH varia de 6,50 a 9,7 portanto, imprime à água um caráter alcalino;

O resíduo seco varia de 60 a 882 mg/l, o que caracteriza uma água doce ("fresh water"). Com relação a alcalinidade varia de 47 a 220 mg/l e quanto a dureza são todas muito moles, segundo a classificação de KLUT OLSZEWSKI (1965).

## 12.2. - Classificação das Águas

Para a classificação das água subterrâneas desta unidade foi adotado o mesmo sistema aplicado ao Membro Siderópolis, uma vez que as classificações de PIPER (1944) e CHTCHOUKAREW - SLAVIANOV contém as informações de caráter geoquímico e de certa forma tentam expressar de forma concisa o que se obtém com os diferentes diagramas.

A figura 65 mostra a classificação das águas subterrâneas do Membro Triunfo, com base no diagrama triangular de PIPER e na tabela 28 observa-se que as águas subterrâneas bicarbonatadas-cálcicas são do tipo químico dominante com 25%, e com 12,5% as águas do tipo químico: sulfatadas-cálcicas, sulfatadas-bicarbonatadas-cálcicas, bicarbonatadas-sulfatadas-cálcicas, bicarbonatadas-magnesianas-cálcicas e cloretadas-sulfatadas-sódicas.

Nas figuras 66 e 67 observa-se classificação das águas subterrâneas, em base ao diagrama de CHTCHOUKAREW-SLAVIANOV e na tabela 29 verifica-se que pelo conteúdo catiônico predomina a água cálcica (37,5%) e a cálcico-sódica (37,5%), seguida em menor proporção pela água cálcica-magnésica (12,5%) e a cálcica-magnésica-sódica (12,5%). Com relação aos ânions, verifica-se que a água hidrocarbonata-cloretada (37,5%) predomina, seguida pela água hidrocarbonatada-sulfatada e hidrocarbonatada (25%) e em menor proporção a água sulfatada-cloretada (12,5%).

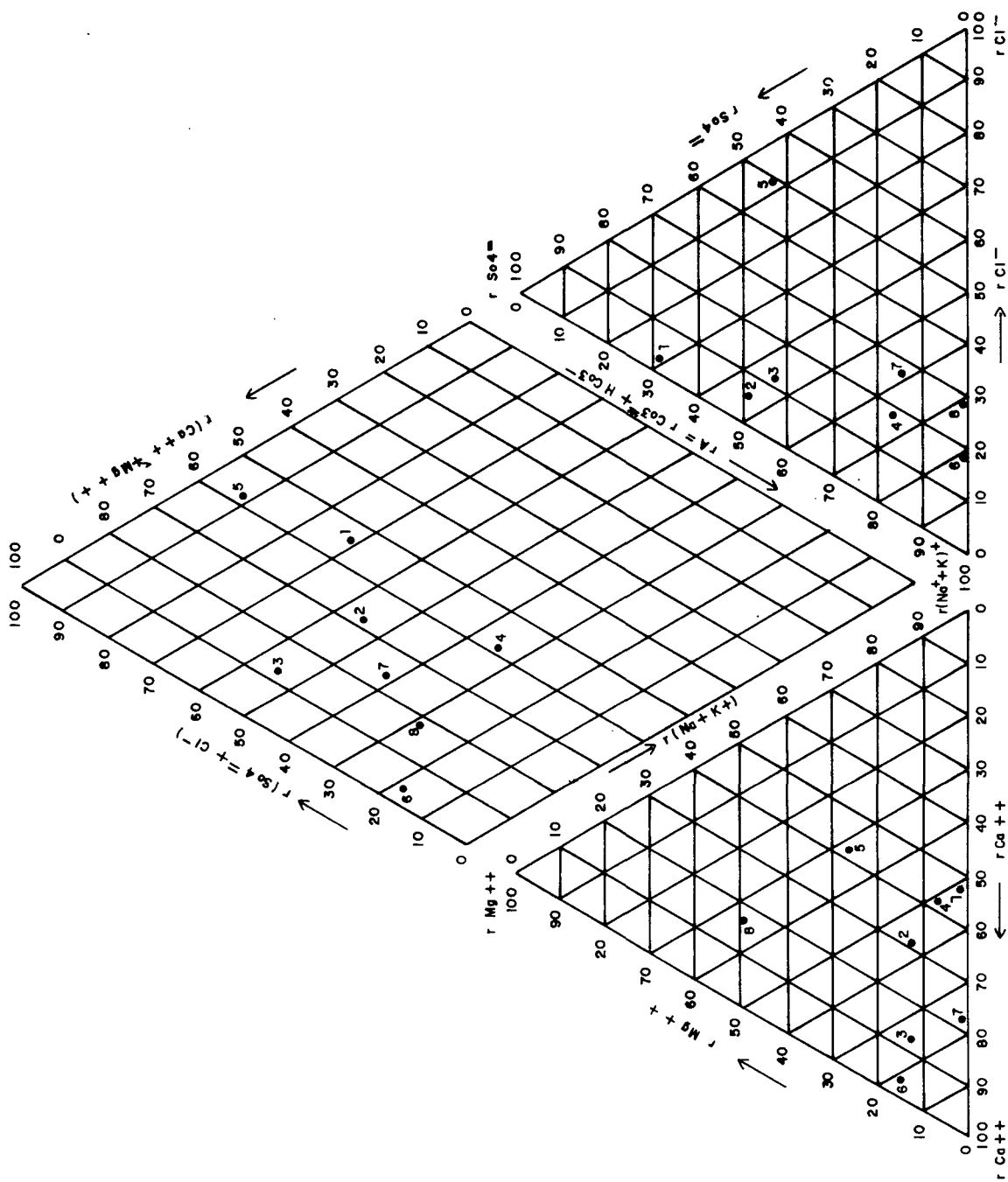


Fig. 65 - Classificação da Água Subterrânea do Membro Triunfo, segundo Diagrama de Piper. Teores em Percentagem de meq/l.

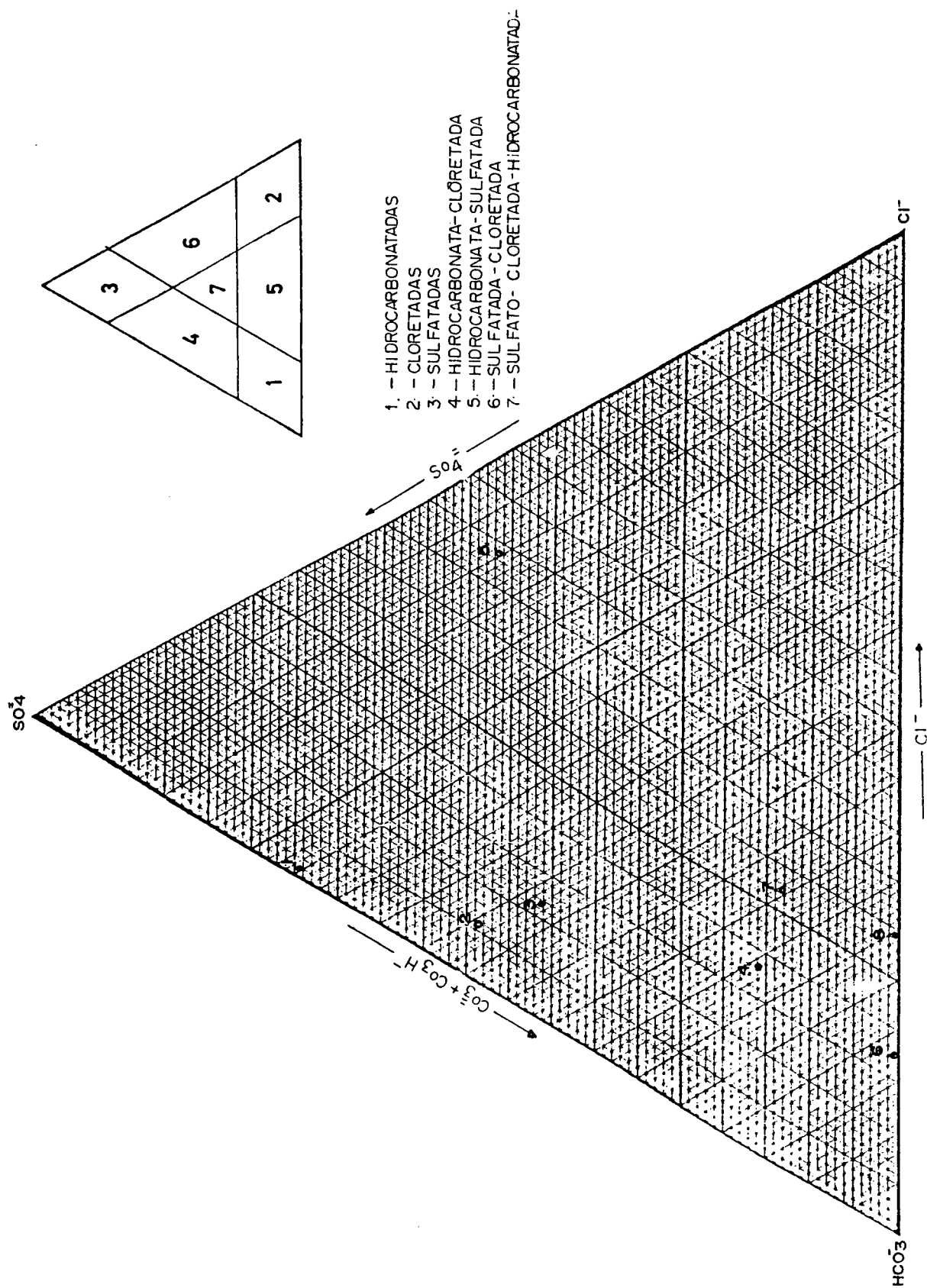


Fig. 66 - Classificação Aniônica da Água Subterrânea do Membro Triunfo, segundo Diagrama de Ohtchoukarew-Slavianov. Teores em Porcentagem de meq/l.



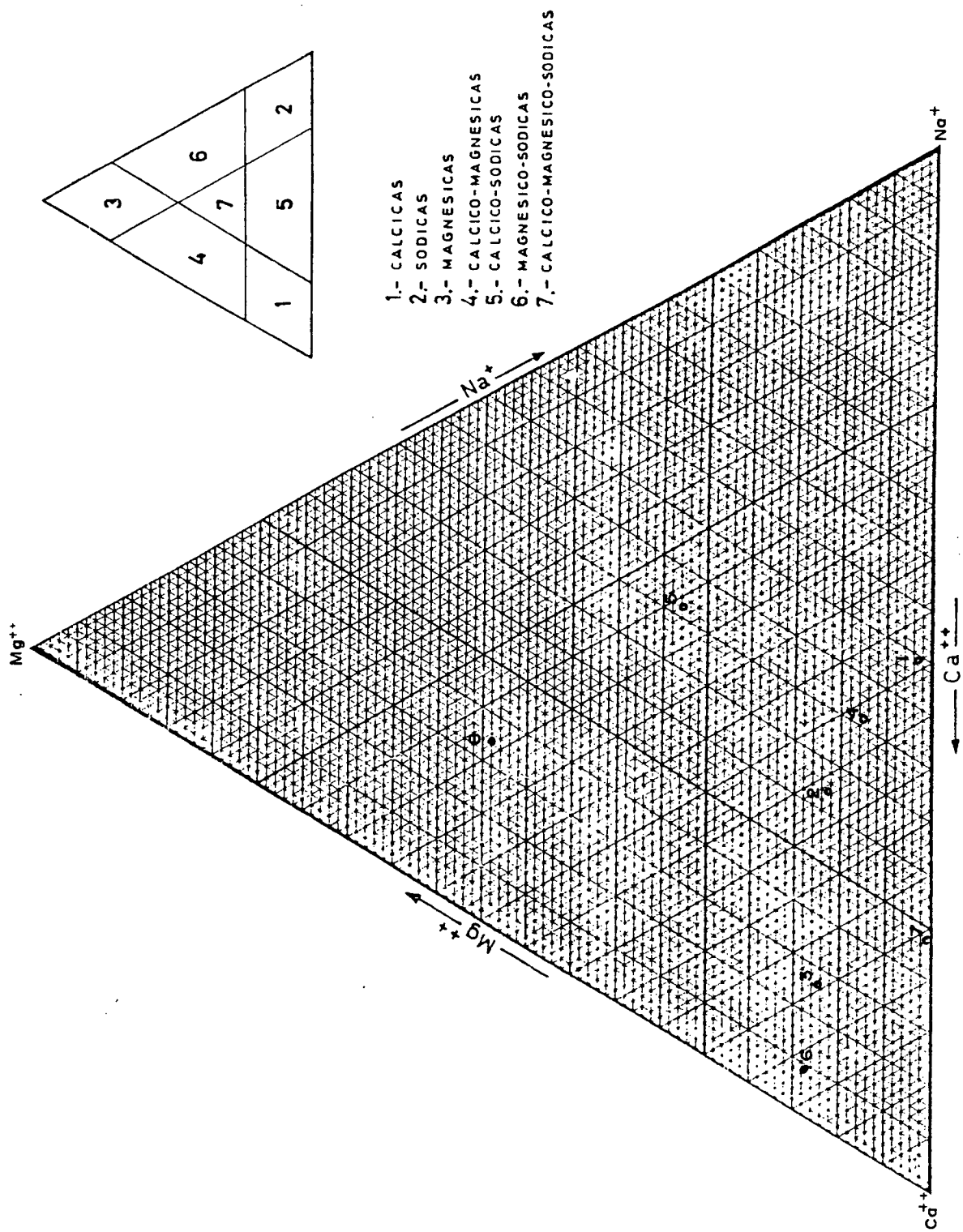


Fig. 67 - Classificação Catiônica da Água Subterrânea do Membro Triunfo, segundo Diagrama de Chetchkoukarew-Slavianov. Teores em Porcentagem de meq/l.

TABELA 28 - RESULTADOS DAS CLASSIFICAÇÕES DA AGUA  
SUBTERRÂNEA DO MEMBRO TRIUNFO, SEGUNDO  
PIPER

AMOSTRA	CLASSIFICAÇÃO
1MT -	Sulfatada Cálcica
2MT -	Sulfatada Bicarbonatada Cálcica
3MT -	Bicarbonatada Sulfatada Cálcica
4MT -	Bicarbonatada Cálcica
5MT -	Cloretada Sulfatada Sódica
6MT -	Bicarbonatada Cálcica
7MT -	Bicarbonatada Cálcica
8MT -	Bicarbonatada Magnesiânica Cálcica

TABELA 29 - RESULTADOS DAS CLASSIFICAÇÕES DA ÁGUA  
SUBTERRÂNEA DO MEMBRO TRIUNFO, SEGUNDO  
CHTCHOUKAREW-SLAVIANOV

AMOSTRA	CLASSIFICAÇÃO	
	CATION	ANION
1MT -	Cálcica - Sódica	Hidrocarbonata - Cloretada
2MT -	Cálcica - Sódica	Hidrocarbonata - Cloretada
3MT -	Cálcica	Hidrocarbonata - Cloretada
4MT -	Cálcica - Sódica	Hidrocarbonatada
5MT -	Cálcica - Magnésica - Sódica	Sulfatada - Cloretada
6MT -	Cálcica	Hidrocarbonatada
7MT -	Cálcica	Hidrocarbonata - Sulfatada
8MT -	Cálcica - Magnésica	Hidrocarbonata - Sulfatada

### 12.3. - Qualidade da Água Para os Diversos Usos

#### 12.3.1. - Consumo Humano

Para determinação da qualidade e caracterização da hidroquímica desta unidade foi adotado o Diagrama de Escalas Logarítmicas Verticais de SCHOELLER-BERKALLOFF (figuras 68 e 69), como o sistema de estudo mais adequado, pois este diagrama permite a comparação de análises e é, muito útil como nomograma para mostrar as relações entre partes por milhão e equivalentes por milhão dos principais íons.

Das 8 oito amostras estudadas, apenas 01 (uma) tem restrições quanto à potabilidade. Nesta o íon cloreto está acima dos padrões; as demais possuem potabilidade de passável à boa.

Se compararmos com os padrões estabelecidos pelo Decreto Nº 12.846, observa-se na tabela 30 que a água amostrada e analisada do Membro Triunfo, apresenta condições de potabilidade para o consumo humano.

- pH - a água subterrânea contida no Membro Triunfo apresenta caráter alcalino, pH varia de 6,7 a 9,7;

- Dureza e Alcalinidade - com relação a estes parâmetros 100% das amostras estão compreendidas nos limites estabelecidos;

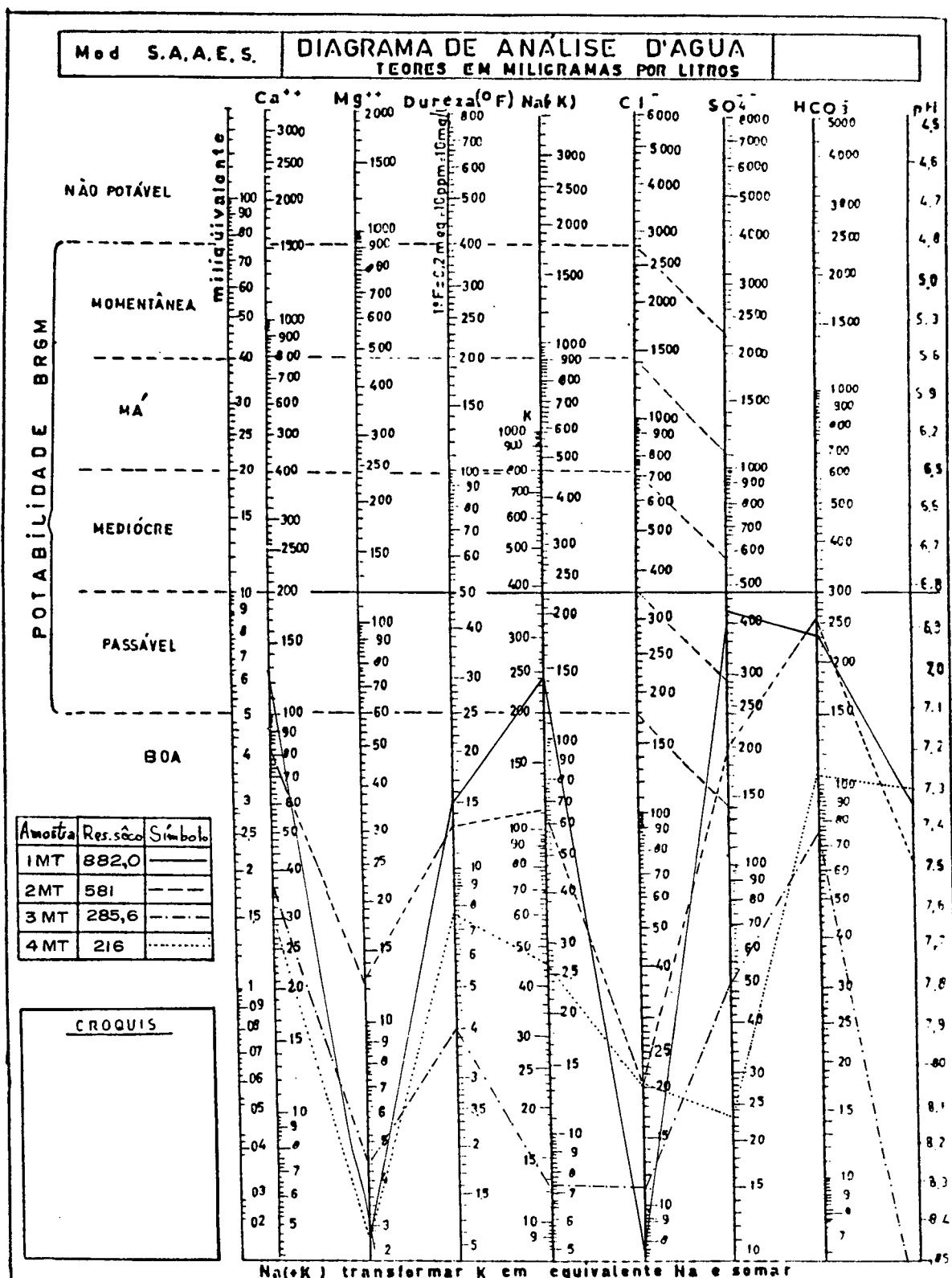


Fig. 68 - Classificação da Água Subterrânea do Membro Triunfo, segundo Diagrama de Schoeller-Berkaloff. Teores e mg/l.

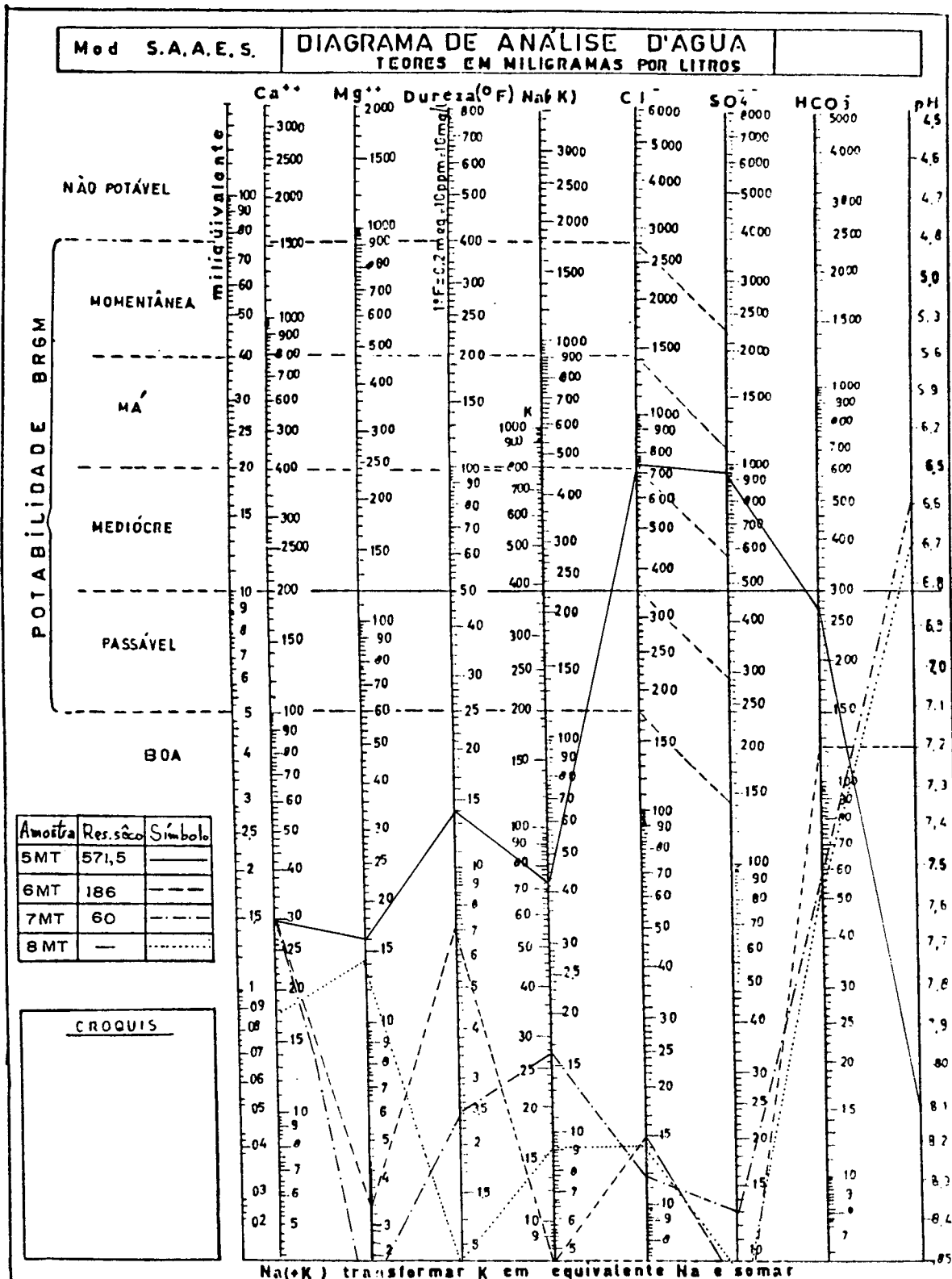


Fig. 69 - Classificação da Água Subterrânea do Membro Triunfo, segundo Diagrama de Schoeller-Berkaloff. Teores em mg/l.

- Resíduo Seco - do total amostrado 62% atendem aos limites estabelecidos;

- Cloreto - dos resultados analíticos obtidos 88% correspondem aos limites propostos.

Tabela 30 - Aptidão da Água Subterrânea do Membro Triunfo. Decreto 12.846.

Elemento	Unidade	Padrão Adotado	Resultados Analíticos		
			No Padrão	Fora do Padrão	
pH	-	5 - 10	8	100%	
Dureza	mg/l CaCO <sub>3</sub>	100-200	8 - 100%	-	-
Alcalinidade	" "	250	8 - 100%	-	-
Resíduo Seco					
18090	mg/l	500	5	62%	3 - 38%
Cloretos	mg/lCl-	250	7 - 88%	1 - 12%	
Ferro Total	mg/lFe	0,3	ND	-	-

## 12.3.2. - Uso Agrícola

Em face a impossibilidade de utilizar todas as amostras, por decorrência dos laudos das análises químicas não apresentaram os dados completos, as observações restringiram-se em apenas 03 (três) análises (figura 70). Das amostras possíveis de serem estudadas quimicamente, obteve-se a tabela nº 31.

Tabela 31 - Aptidão da Água Subterrânea do Membro Triunfo para a Irrigação com base nos Padrões do Laboratório de Salinidade de Ribersidae.

Amostra	$\text{Na}^+ / \sqrt{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}} / 2$		$\sqrt{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}} / 2$	SAR	Cond.	Classe
3MT	0,31	1,08	1,03	0,30	255	C2S1
6MT	0,08	0,87	0,93	0,08	276,2	C2S1
8MT	0,41	0,59	0,76	0,53	132,6	C1S1

Na tabela acima se verifica que a água subterrânea em estudo pertence aos grupos C2S1 e C1S1, que a caracteriza como sem perigo de alcalinização do solo e, com relação a



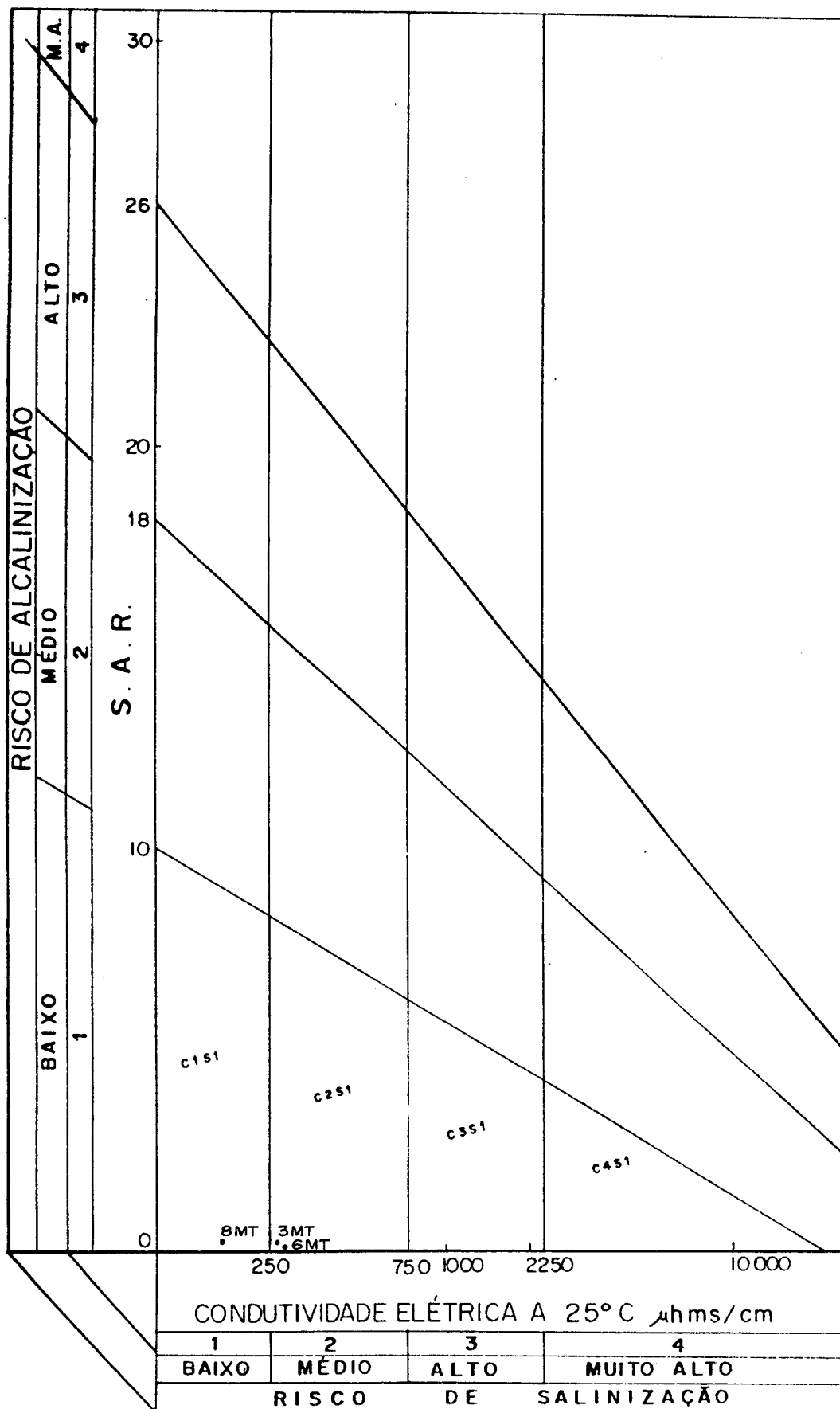


Fig. 70 - Classificação da Águas Subterrânea para Irrigação, segundos Diagrama de SAR. Razão de Adsorção de Sódio (meq/l) X Condutividade Elétrica ( $\mu\text{mhos/cm}$ )

salinização, o perigo é médio.

### 12.3.3. - Uso Industrial

A utilização de água subterrânea nas indústrias da região carbonífera sul catarinense é relativamente expressiva, em razão da má qualidade da água superficial.

As águas contidas no Membro Triunfo, apresentam condições de serem utilizadas nas indústrias, praticamente sem quaisquer tratamentos prévios, uma vez que os teores em sais não apresenta valores altos.

Em dois poços profundos o pH e alcalinidade estão acima dos padrões recomendáveis para utilização na indústria do curtume, e em 08 (oito) poços a dureza impede a utilização imediata desta água na indústria de enlatamento vegetal sem um tratamento prévio.

Em razão do processo de oxidação do sulfato ( $SO_4^{--}$ ) a água subterrânea, desta unidade pode apresentar concentração de gás sulfídrico.

Baseado nos parâmetros máximos admissíveis por LOGAN (1965) para a utilização de água na indústria, se obteve a tabela 32.

Tabela 32 - Uso Industrial da Água Subterrânea do Membro  
Triunfo

Indústria	Dureza		Alcalinidade		pH		Resíduo		Cálcio		Ferro	
	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F
Frigorífico	8	-	8	-	8	-	8	-	8	-	8	-
Alimentos	8	-	8	-	8	-	8	-	8	-	8	-
Curtume	8	-	5	3	6	2	8	-	8	-	8	-
Textil	8	-	8	-	8	-	8	-	8	-	8	-
Enlatamentos	-	8	8	-	8	-	8	-	8	-	8	-
Vegetais												

D - Dentro dos Parâmetros      F - Fora dos Parâmetros

#### 12.4. - Hidroquímica dos Ions Maiores

O ion cálcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) predomina sobre os demais cátions, contudo esta variação não ocorre de forma acentuada, uma vez que o conteúdo em sódio ( $\text{Na}^+$ ) nestas águas é excessivamente alto, devido provavelmente a uma troca de cations,  $\text{Ca}^{++}$  pelo  $\text{Na}^+$  ou  $\text{K}^+$ .

Com relação aos ânions principais, estes apresentam-se dentro de uma média uniforme, entretanto o íon sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) mostra um maior domínio em termos percentuais sobre os demais íons, cuja origem deve estar vinculada à oxidação da matéria orgânica. No que se refere ao íon cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), este apresenta uma média acima dos padrões regionais. Este incremento do íon cloreto pode provir da percolação da água subterrânea sobre os diques de diabásio fraturados que ocorrem na área de estudo e que solubiliza sais, aumentando consideravelmente a concentração deste íon nesta água.

A água subterrânea contida no Membro Triunfo é resultado de uma evolução hidrogeoquímica que depende de vários fatores que ocorrem ao longo da sequência rochosa, entre os quais destacam-se as características hidrodinâmicas, solubilidade dos minerais, presença de matéria orgânica e temperatura.

## CAPÍTULO VI

## CONCLUSÕES

## CONCLUSÕES

O presente estudo representa o esforço na coleta de dados, unificação e na sistematização do conhecimento das características hidrogeológicas e hidroquímicas da Formação Rio Bonito.

Das diferentes formações geológicas que compõem o substrato rochoso na região carbonífera sul catarinense, a Formação Rio Bonito é a que apresenta o melhor comportamento hidrogeológico. A principal forma de recarga é a infiltração direta da água das chuvas e a descarga é realizada através dos principais exutórios naturais, que são os rios, as nascentes e a evapotranspiração.

Devido às circunstâncias hidráulicas e estruturais o Aquífero Rio Bonito apresenta em algumas regiões comportamento de aquífero livre e em outras regiões de aquífero semi-confinado e confinado.

Dos 37 (trinta e sete) relatórios técnicos de poços profundos perfurados na região foi possível avaliar o comportamento hidrodinâmico da Formação Rio Bonito. Os parâmetros hidrogeológicos caracterizam esta unidade com boa capacidade de ceder água e os valores de permeabilidade indicam

que ela possui granulometria média a fina.

As características litológicas da Formação Rio Bonito imprimem a esta unidade comportamento hidrodinâmico diferenciado (estratificado). Os Membros Triunfo (base) e Siderópolis (topo) constituem-se nas principais unidades aquíferas.

O Membro Siderópolis aflora em 84,5 Km<sup>2</sup> da parte central da área de estudo e comporta-se como aquífero livre. O nível freático acompanha a forma da topografia, com inclinações variáveis, dependendo da área de recarga e descarga que varia com a direção.

O Membro Siderópolis é constituído predominantemente por sedimentos arenosos de granulometria média a fina, segue-se intercalações de siltitos, argilitos, camadas de carvão e lentes de calcáreo. A espessura atinge valores de > 46 a 70m.

Os estudos dos parâmetros hidrogeológicos do Membro Siderópolis por rádio isótopos permitiu-nos obter uma transmissividade e permeabilidade de baixa a média alta.

O Membro Paraguaçu é a unidade intermediária, constituída por sedimentos pelíticos de granulometria siltica-argilosa; a espessura varia de > 20 a 54m. Esta unidade pode ser definida como aquífero, possui água em seu interior, porém a transmite muito lentamente.

O Membro Triunfo, pelas características litológicas, estratigráficas, estruturais aliada à sua geometria, extensão e espessura, fazem desta camada a melhor unidade aquífera da Formação Rio Bonito. A espessura atinge valores superiores a 48m. Em face das características litológicas da camada sobrejacente e da camada sotoposta esta unidade tem um caráter de aquífero confinado.

As formações Rio do Sul, Palermo, Irati, Serra Alta, pelas características litológicas (rochas pelíticas) são de baixa transmissividade e permeabilidade, caracterizando-se como aquíferos.

A Formação Serra Geral pode armazenar e transmitir água nas fraturas, porém em face a extensão desta unidade na região, supõe-se que esta rocha poderá atender apenas o suprimento de água as pequenas propriedades rurais.

Os sedimentos quaternários na área de estudo são de pequenas extensões e espessuras.

A evapotranspiração calculada pela fórmula de TURC sobrepassa os 67% da precipitação média anual. A infiltração que, é a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração mais o escoamento superficial, fornece um valor de 28%, significando que inexiste déficit médio anual de água.



As reservas de água subterrânea contidas na Formação Rio Bonito poderão atender comunidades locais, indústrias e a irrigação.

Os dados das análises físicas, físico-químicas e químicas das águas subterrâneas obtidas nos poços escavados, poços tubulares e vertentes naturais, permitem verificar o zoneamento vertical e horizontal na composição química das águas subterrâneas contidas na Formação Rio Bonito.

No Membro Siderópolis onde a recarga resulta de sua área aflorante, infiltram-se as águas meteóricas que lixiviam os depósitos de rejeitos ricos em pirita, como consequência as águas subterrâneas desta unidade apresentam enriquecimento elevado de sais, em face as condições de alimentação, circulação serem favorecidas pela permeabilidade e transmissividade da unidade.

Os valores de pH aumentaram de 2,02 a 6,0 (Gothe 1989), nas águas pluviais, para de 3,1 a 7,1 (1984) e 2,7 a 6,1 (1990), significando atenuação parcial na zona não saturada; os valores de resíduo seco são mais elevados próximos as áreas de depósitos de rejeitos provenientes da mineração.

As águas subterrâneas apresentam vários tipos químicos, sendo que na amostragem realizada no ano de 1984 aparecem três

tipos químicos dominantes: sulfatada-magnésiana, cloretada-sódica magnésiana e cloretada-sódica, e na amostragem realizada no ano de 1990 os tipos químicos dominantes são: sulfatada-sódica e cloretada-sódica.

O aumento da concentração dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  na água subterrânea amostrada no ano de 1990 deve-se ao fato de que houve maior lixiviação de argilas e feldspatos através das águas pluviais ácidas e a troca iônica do  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  pelo  $\text{Ca}^{++}$ , aumentando a concentração em solução dos metais alcalinos; o íon sulfato, apesar de ser retido na zona não saturada através de processo de adsorção ou formar compostos complexos pouco solúveis, atingiu o nível freático com elevada taxa de concentração. Com relação ao íon cloreto este elemento não sofre processo de óxi-redução, atingindo a água subterrânea em níveis relativamente altos; devido o caráter ácido da água subterrânea o íon bicarbonato encontra-se em concentrações baixas. Os depósitos de rejeitos da região foram colocados diretamente sobre o nível freático, facilitando a infiltração destes elementos.

Com relação à utilização das águas subterrâneas do Membro Siderópolis, o estudo mostra que sua qualidade está prejudicada pelo baixo pH, resíduo seco e acidez que estão fora dos padrões estabelecidos.

Os metais pesados encontram-se acima dos limites

estabelecidos que impedem a utilização para o consumo humano, para a vida aquática e para a irrigação.

Através dos mapas hidroquímicos observa-se que nas localidades de Siderópolis, Treviso e Forquilha as curvas de isovalores tornam-se mais concentradas, pois nestes locais encontram-se os principais depósitos de rejeitos carbonosos conseqüentemente são as principais fontes de elementos contaminantes das águas subterrâneas.

A hidroquímica das águas subterrâneas do aquífero Membro Siderópolis está condicionada à geomorfologia da área, às variações litológicas, à baixa profundidade do nível estático, ao comportamento hidrodinâmico, e aos depósitos de rejeitos piritosos na região.

Os valores de resíduo seco nas águas subterrâneas do Membro Triunfo são decorrentes do processo de interação água x rocha que ocorre com a água a medida que se aprofunda no pacote rochoso; o pH é alcalino e com relação a dureza é considerada como água mole.

A hidroquímica da água subterrânea contida no Membro Triunfo está condicionada às suas características litológicas, ao comportamento hidrodinâmico e à vinculação com a área de recarga.

Os futuros trabalhos deverão ter maior abrangência, principalmente nos testes de bombeamento, de acordo com a metodologia usual, e as amostragens químicas deverão ser direcionadas no sentido de determinar a variação da composição química à medida que a água se aprofunda no aquífero e também acompanhar as modificações hidroquímicas na horizontal.

Face as características hidroquímicas das águas subterrâneas obtidas, faz-se necessário aplicar a legislação ambiental no sentido de que as empresas poluidoras implementem medidas que atenuem os impactos ambientais e que algum órgão público exerça o poder de fiscalização e acompanhamento na perfuração de poços e no aproveitamento econômico.

## BIBLIOGRAFIA.

- ABORRAGE, A.M. & LOPES, C. Projeto a borda leste da Bacia do Paraná: integração geológica e avaliação econômica. Porto Alegre, São Paulo: DNPM/CPRM, 1986. 223p.
- ALMEIDA, F.F.M. Contribuição à geomorfologia da região oriental de Santa Catarina. São Paulo: Associação de Geógrafos Brasileiros, 1978. 3(1):p.10-37
- BORTOLUZZI, C.A. et alli. Pesquisa geológica na Bacia do Carbonífera de Santa Catarina. Porto Alegre: UFRGS, 1978. n.11, p.33-192.
- BORTOLUZZI, C.A. et alli. Coluna White: estratigrafia da Bacia do Paraná no sul do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: DNPM/PETROBRAS/CPRM, 1990. (Rel. Inéd.)
- BOTTURA, J.A. & FILHO A.V.L. Hidrogeologia da lagoa São Paulo, Presidente Epitácio. (SP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGUAS SUBTERRÂNEAS, 69, Porto Alegre, Anais... Porto Alegre: Associação Brasileira de Aguas Subterrâneas. p.136-147.
- BRITO, B.B.N. et alli. Geologia e províncias hidrogeológicas de Santa Catarina. Rio de Janeiro: Mineração e Metalurgia, (46), 1979.
- CAMPOS, H.C.N.S. Contribuição ao estudo hidrogeoquímico do Grupo Baurú no Estado de São Paulo.: USP, 1987. Dissertação de Mestrado.
- CASTANY, G. Tratado práctico de aguas subterraneas. Barcelona: OMEGA, 1973.
- CAYE, B.R. et alli Projeto carvão no pré-barro branco, Santa Catarina. Porto Alegre. Relatório Final. CPRM, 1975. 206p.
- CETESB. Agua: qualidade, padrões de potabilidade e poluição. São Paulo, 1969. 298 p.
- , Cálculo do tempo de infiltração de água e ou poluentes na Bacia de Taubaté. São Paulo. 6 p.
- , Critérios para interpretação de análises físico-químicas de águas. São Paulo. 19 p.
- , Curso sobre poluição das águas. São Paulo : Gerência de Treinamento e Divulgação Científica da CETESB, 1982.
- , Guia de coleta e preservação de amostras de água. São Paulo, 1988. 150 p.
- , Planejamento de estudos regionais de controle de poluição de águas subterrâneas. São Paulo. 20 p.
- , Poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo; estudo preliminar. São Paulo : Secretaria de Obras e do Meio

- Ambiente/CETESB, 1977.
- , Poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo: uma tentativa de macroavaliação qualitativa e da metodologia do controle. São Paulo. 9 p.
- CONCARBO. Subsídios a uma política carboquímica estadual. Rio Grande do Sul: Conselho Estadual do Carvão, 1981.
- CÔRTEZ, I.M.A. Investigação e estudo dos efluentes de mineração na sub-bacia do rio sangão - SC.In.: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE MEIO AMBIENTE, 29, Florianópolis, Anais... Florianópolis : UFSC, 1989. v.1 p.206-14.
- CUNHA, I.J. Programa de conservação ambiental do sul de Santa Catarina (PAS): controle da poluição das atividades mineradoras e processadoras do carvão.In: SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE TÉCNICAS EXPLORATÓRIAS EM GEOLOGIA, 29. P.689-95.
- CUSTÓDIO, E. & LLAMAS, M. R. Hidrologia subterrânea.Barcelona: Omega, 1976.
- FABRÍCIO, J.A.C. et alli. Projeto pré-barro branco.Porto Alegre: DNP/CPRM, 1975. 117p.
- FATMA. Projeto C: avaliação e controle de fontes de poluição. Santa Catarina: FATMA, 1978. v.1 134 p.Relatório final.
- FATMA;SEMA;SUDESUL . Projeto prevenção e controle da poluição no sul do Estado de Santa Catarina. FATMA/SEMA/SUDESUL,1978. 107p. Relatório Geral.
- FATMA. Projeto E:Recuperação ambiental de áreas de disposição de rejeitos da mineração. Santa Catarina: FATMA. 1982. v.1, 286 p. Relatório Final.
- . Projeto G: Siderópolis/Ficrita.Santa Catarina : FATMA, 1982. V.1 e v.,286 p. Relatório Final.
- FRANÇA,A.B. & CALDAS,A.F.F.D. Diferenciação e evolução dos sistemas deltaicos na parte superior do Grupo Tubarão,Bacia do Paraná .Revista Brasileira de Geociências, 1983. v.13, n.1, p.56-68.
- FRANÇA,A.B. Porosidade secundária nos arenitos das Formações Rio Bonito e Itararé e sua possível implicação na exploração de petróleo na Bacia do Paraná. Revista Brasileira de Geociências, 1984 v.14, n.1, p. 35-46.
- FENZL, N. Introdução a geoquímica. Pará: Universidade Federal do Pará, 1986.
- FOSTER,S.S.D.& HIRATA,R.C.A. Evaluation del riesgos de contaminación de las aguas suberraneas: metodo de reconocimiento basado em datos existentes.Lima: CEPIS-OPS, 1988. 84p.

- FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R.C.A.; ROCHA, G.A. Risco de poluição de águas subterrâneas: uma proposta metodológica de avaliação regional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGUAS SUBTERRÂNEAS 59, São Paulo, Anais... São Paulo: ABAS, 1988. p.175-180.
- FUNDACENTRO. Inventário preliminar das fontes poluidoras atmosférica e hídricas nas coquearias de Criciúma, Lauro Müller, Urussanga - SC. In: IESA. Preservação do Meio Ambiente, Relatório Conceitual. 1983. 60p.
- GORDON, Jr.M. Classificação das formações gondwânicas do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul; notas preliminares e estudos. Rio de Janeiro: DNPM/DGM, 1947. n.38, p.1-20.
- GOTHE, C.A.V. Diagnóstico ambiental na região carbonífera Catarinense. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE MEIO AMBIENTE, 2, Florianópolis, Anais... Florianópolis: UFSC, 1989. V.3. 1989. p.62-96.
- HAUSMAN, A. Estudos das possibilidades de água subterrânea no Rio Grande do Sul. São Paulo : Sociedade Brasileira de Geologia, 1961. v.6, n.1, p. 29-41.
- , Primeira semana de debates geológicos. Porto Alegre: Centro Acadêmico dos Estudantes de Geologia - UFRGS, 1965. p. 33-71.
- HEM, J.D. Study and interpretation of chemical characteristics of natural water. Washigton : U.S. Govern. Printing Office, 1959. p. 176-78 e 287 -309.
- IESA. Preservação do meio ambiente. Rio de Janeiro, 1983. 190 p. Relatório Conceitual.
- JOHNSON DIVISION & CETESB. Agua subterrânea e poços tubulares. Trad. CETESB. 3 ed. rev., 1978.
- KLEIN, R.M.; PASTORI, V.; NETO A.B.C. Atlas de Santa Catarina. Rio de Janeiro: GAPLAN - Subchefia de Estatística, Geografia e Informática, 1986. p. 35-36.
- KLIMENTOV, P.P. & KÓNONOV, V.M. Metodologia da las investigaciones hidrogeológicas. Trad. de Yu. P. Murzin. URSS: Mir Moscou, 1982. 447p
- KRAUSKOPF, K.B. Introdução à geoquímica. Trad. Michal Lando & Paulo S.C. Bogus, 1972.
- LAFUENTE, J.C. Química del agua. 2.ed. Talleres Gráficos Alonso, 1981. 423p.
- LEITE, C.A.G et alli. Geologia aplicada a rejeitos de mineração: uma proposta metodológica. In.: CONGRESSO BRASILEIRO de GEOLOGIA, 319, Balneário de Camboriú, Anais... Sociedade Brasileira de Geologia, 1980. v.2, p. 968-75.

- LEVORSEN, A.I. Geology of petroleum. San Francisco: V.N. Freeman and Company, 1958.
- LOCH, R.E.N. A exploração carbonífera e a degradação ambiental em Criciúma, de 1956 a 1978. In.: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE O MEIO AMBIENTE, 29, Florianópolis, Anais... Florianópolis: UFSC, 1989. v.1, p.229-233.
- LOGAN, J. Interpretação de análises químicas da água. Recife: U.S. Agency for International Development. 67p.
- LOPEZ, A.I.; MARTINEZ, M.V. Pozos y acuíferos. Talleres Gráficos IBERGESA, 1988.
- LUCA, C.P. Reflexos da mineração de carvão no meio ambiente. In.: CURSO DE CONTROLE DA POLUIÇÃO NA MINERAÇÃO. Criciúma: DNPM, 1986. v.2, p. 251-89.
- MACHADO, J.L. Projeto estudo da vulnerabilidade à contaminação dos mananciais subterrâneos decorrentes da extração do carvão mineral. CPRM, 1984. 300 p.
- MAHAN, B.H. Química um curso universitário. Trad. Ebe B. Melardi Madeleine Perrier, Léa Barbieri Zinner e Klaus Zinner, 1972.
- MASON, B.H. Princípios de geoquímica. Trad. Rui R. Franco. 1971.
- MARTINS Jr., P.M. Estudo para uma estratégia regional de avaliação de metais dissolvidos em águas subterrâneas. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 329, Salvador, Anais... Sociedade Brasileira de Geologia, 1982. v.4, p.1696-1709.
- MEDEIROS, R.A. & THOMAS, A.F. Fácies e ambientes deposicionais da Formação Rio Bonito. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 279, Aracaju, Anais... Sociedade Brasileira de Geologia, 1973.
- MONACO, O.A. et alii Carta Geológica do Brasil Milionésimo. Folha Assunção (SG-21) e Folha Curitiba (SG-22). Departamento Nacional da Produção Mineral. 1974. 82p.
- MEINZER, O.E. Outline of ground-water hydrology with definitions. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 494, 1923. 71 p.
- NORTHFLEET, A.A. et alii. Reavaliação dos dados geológicos da Bacia do Paraná. Boletim Técnico PETROBRAS, 1969. v.12, n.3, p. 291-346.
- PRUNEDA, J.R.P. Características hidrogeológicas hidroquímicas de los alrededores de villanueva de la Serena y Don Benito. Madrid: Instituto de Estudios Extremenos, Departamento de Geología Economica, 1973. p. 38-93.
- PUTZER, H. Camadas de carvão mineral e seu comportamento no sul de Santa Catarina. Rio de Janeiro. Boletim 96. 182p.



- ODA, G.H. et alli. Hidrogeologia da folha de Pirapora (SP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGUAS SUBTERRANEAS, 69, Porto Alegre Anais... Associação Brasileira de Aguas Subterrâneas, 1990. p. 164-73.
- PIUCI, J. et alli. Ocorrência, conseqüência e remoção do ferro nas águas subterrâneas. São Paulo, Revista Aguas Subterrâneas, 1981. n.4, p. 29-40
- PUTZER, H. Geologia da folha de Tubarão, Estado de Santa Catarina. Rio de Janeiro, Boletim nº94 DFPM/DNPM, 1955. p. 1-94.
- ROSA, R.O.; HERRMANN, M.L.P. Geomorfologia. In: ATLAS DE SANTA CATARINA. Cap.B. "Aspectos Físicos". Rio de Janeiro: GAPLAN / Subchefia de Estatística, Geografia e Informática, 1986. p.31-32.
- REBOUÇAS, A.C. Recursos hídricos subterrâneos da Bacia do Paraná: análise de pré-viabilidade. São Paulo: USP, 1976. 143p. Tese de Livre Docência.
- SANTOS, W.J.G. Recuperação de áreas mineradas: um enfoque preservacionista para a mineração. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 359, Belém do Pará, Anais... Sociedade Brasileira de Geologia, 1988, v.5, p. 1983-993.
- SAWYER, C.N. & McCARTY, P.L. Chemistry for Sanitary Engineers. Tokyo, Kogakuska 1967. 518p.
- SCHOELLER, H. Les eaux souterraines. Paris: Masson 1962. 611 p.
- SCHENEIDER, R.L. et alli. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 389, Porto Alegre, Anais... Sociedade Brasileira de Geologia, 1974, v.1, p.41 - 65.
- SECRETARIA de ESTADO de COORDENAÇÃO GERAL e PLANEJAMENTO. Subsecretaria de Estudos Geográfico Estatístico. Números de Santa Catarina 1987, Florianópolis 1988. p.440
- SECRETARIA da SAÚDE e do MEIO AMBIENTE. Recuperação de áreas mineradas de carvão a céu aberto : uma necessidade. Porto Alegre. 13 p.
- SILVA, L.M. Agua Subterrânea em Içara : construção do poço tubular mais produtivo do Estado de Santa Catarina. In: ENCONTRO NACIONAL DOS PERFURADORES DE POÇOS, 39, Curitiba. Associação Brasileira de Aguas Subterrâneas, 1983. 30p.
- SILVA, A.B. Evolução química das águas subterrâneas. São Paulo Revista Aguas Subterrâneas, 1984. n.7, p. 5-12.
- , Prevenção da poluição em águas subterrâneas. In.: CURSO DE CONTROLE DA POLUIÇÃO NA MINERAÇÃO. Criciúma: DNPM, 1986. v.2, p. 99-143.

- SOBREIRO NETO, A.F. & CAMPOS, H.C.N.S. Análise de agrupamentos: um método auxiliar na caracterização de aquíferos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 319 Balneário Camboriú, Anais... Sociedade Brasileira de Geologia, v.2, p.. 1041-055.
- STIF, H.A. The interpretation of chemical water analysis by means of patterns. *Journal of Petrology and Technology*, 1951. v.3, n.10. p.15-16.
- SUDENE . Estudo Hidrogeológico da Região de São João do Piauí. Série Hidrogeologia, 41. Recife: SUDENE, 1966. 116 p.
- SZIKSZAY, M. et alli Estudos hidrogeoquímicos das zonas não saturada e saturada em terrenos subtropicais úmidos. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 29, Rio de Janeiro, Anais... Sociedade Brasileira de Geoquímica, 1989. v.1, p.329-37.
- THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. *Geog. Rev.*, n.38, 1948. p.519-524.
- TORNTHWAITE, C.W. & MATHER, J.R. Instructions and tables for computing the potential evapotranspiration and the water balance. *Climate Drexel Inst. of Tech.* 1957. v.10, n.3, p. 185-311
- TODD, D.K. Hidrologia de águas subterrâneas. Editora Edgard Blücher, 1959. 319p.
- UFRGS & IPH. Impacto da mineração do carvão sobre os recursos hídricos da bacia carbonífera de Santa Catarina; Projeto Prevenção e Controle da Poluição no Sul do Estado de Santa Catarina. Florianópolis : SUDESUL/FATMA/SEMA, 1978. 133p. Relatório Final.
- UFRGS; INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS; FATMA. Estudos sobre o impacto ecológico da mineração e do beneficiamento do carvão na região sul do Estado de Santa Catarina. Porto Alegre : UFRGS, 1978. 337 p.
- UFRGS & IPH. Estudo da qualidade das águas e principais atividades poluidoras na Bacia do Alto Rio Mãe Luzia. Porto Alegre: UFRGS/FATMA. 1981. 180 p.
- VALIATI, D. Controle ambiental na mineração de carvão-SC. In.: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE O MEIO AMBIENTE, 2, Florianópolis, Anais ... Florianópolis: UFSC, 1989. v.1. 1989 p. 195-206.
- VASSÃO, C.E. Aspectos geológicos e apreciação sobre a possibilidade do aproveitamento dos aquíferos da Formação Rio Bonito, na região de São Mateus do Sul (PR). Boletim Interno, PETROBRAS/DEXUL, 1978. 27p.

- YOSHINAGA, S. et alli. Contribuição ao conhecimento da hidrologia subterrânea do Município de Sorocaba (SP). In: CONGRESSO DE AGUAS SUBTERRÂNEAS, 6º, Porto Alegre, Anais... Associação Brasileira de Aguas Subterrâneas, 1990. p. 154-163.
- WHITE, I.C. Relatório sobre os coal measures e rochas associadas no sul do Brasil. Rio de Janeiro, 1908. p.1-300. Relatório Final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil.
- WILLING, C.D. et alli Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo Folha Porto Alegre (SH-22 e Folha Lagoa Mirim (SI-22), Departamento Nacional da Produção Mineral. 1974. 99p.

## ANEXO 1

### INVENTARIO DOS DADOS HIDROLÓGICOS E HIDROGEOLÓGICOS

## ESTACAO METEOROLOGICA FORQUILHINHA

LATITUDE - 28 44 - LONGITUDE - 49 28 ALTITUDE (m) - 100

PERIODO 1946 - 1990

ANO	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAIO	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	SOMA
1946	158.9	190.3	213.1	22.5	55.3	133.4	111.9	86.2	14.8	68.3	46.2	75.5	1176.4
1947	169	261	112.4	31	156.2	66.2	52.4	57.8	117.8	72.2	141.4	98.6	1336
1948	85.8	212.8	135	123	188.8	00.0	117.3	58	51.5	77.1	60.4	16.6	1126.3
1949	141.6	54.9	161.6	108.9	20.8	98.4	111.9	53.8	110.8	107.3	30.7	76.3	1077
1950	134.8	286.1	168.4	167.3	57.9	21.4	36.8	38.4	88.4	63.0	105.2	123.7	1291.4
1951	122.7	226.2	68.4	163.9	8.3	23.2	13.4	00.0	163.2	140.2	105.5	100.4	1135.4
1952	91.5	83.1	38.9	29.4	59.9	128.4	35.2	81.3	52.3	157.5	113.8	167.7	1039
1953	35.5	105.5	72.5	106.2	88.5	15.5	78.5	65.4	138.2	137	99	201.9	1143.7
1954	150	253.8	115.1	236.2	52.2	128.4	208.8	71.8	251.2	93.8	66	69.9	1697.2
1955	33	156.3	104.4	184.3	101.8	24.2	126.9	81.8	118.7	40.8	100.4	186.4	1259
1956	308.8	159.4	154.9	123.8	64.4	78.6	47.8	91.8	95.7	162	41.8	77.7	1406.7
1957	110	106.8	318.6	277.4	80.7	67.8	173.6	167	207.4	295.9	186	137.9	2129.1
1958	160.4	210.6	249.4	67.8	111	163.4	33.4	119.9	118.2	141.8	141.6	125.2	1642.7
1959	132.4	87.4	45.4	129.6	82.4	66.4	15	120.2	224.4	44	25.2	75.2	1047.6
1960	198.4	146.5	500.2	92.8	31.2	105.6	54.4	204.9	79.4	149.6	86.8	47.2	1697
1961	174.6	118	275.1	158	60.2	142.4	143.2	47.8	306.2	175	289.2	119.2	2008.9
1962	75.8	112.6	175.6	49.6	55.8	27.6	100.7	38.4	180.4	35.7	49.3	63.2	964.7
1963	278.4	344	162.4	30.8	25.8	21.2	95.6	198.4	188	258.2	163.2	56.4	1822.4
1964	20.8	201.2	287	110	23.6	78	93.4	83.8	153.4	182.2	92.2	159.6	1485.2
1965	79	55.4	223.2	100.2	113	43.4	76.6	537.2	206.2	95.6	136	142.8	1808.2
1966	233.2	344.6	83.6	143.6	11.2	71	87.6	92.2	150	138	26.2	135.6	1516.8
1967	154.4	153	00.0	30.6	53.6	61.8	24.4	77.1	320.2	104	123.8	17.6	1120.5
1968	174.6	56.4	176.8	48.6	12	54.8	59.6	51.6	205.2	136.2	98.4	183.6	1257.8
1969	202.7	203.8	173.6	113.5	82.6	94.5	42.6	93.6	126.4	94.8	119.4	43.2	1390.7
1970	53	186.4	191.9	36	00.0	00.0	00.0	00.0	95.2	145.2	43	85	1196.3
1971	167	340.8	161.6	156.6	92.4	111.8	57.6	144.4	36	51.6	22.8	91.4	1434
1972	322.4	205.4	245	159.4	32.6	109	119.4	177	131.6	182.8	74.4	177.6	1936.6
1973	103.6	275.2	119.9	85.2	84.2	91.8	168	241.9	119.8	102.4	103.8	93.8	1589.6
1974	40.4	271.6	493.6	58.4	126.8	128	103.6	24.4	61.8	43	147.4	103	1602
1975	95.8	160.4	103.9	87.5	70.5	48.1	45.2	205.7	143	185.5	154.4	131.7	1431.7
1976	169.6	156	362.3	26.6	312	45.8	57	156.6	97.1	53	138.2	166.9	1741.1
1977	255	158	206	67.7	63.8	78.2	91	208.7	89.2	117.5	124.5	123.8	1583.4
1978	164.1	94.3	211.1	14.9	43.3	17.6	57.9	54.4	86.5	129.8	150.4	110.1	1134.4
1979	54.1	161	166.4	97.4	149.6	36.7	75.4	67.4	63.6	101.3	147.4	238.9	1359.2
1980	132.7	276.9	235.5	94.1	123.6	70.9	00.0	189.4	143.2	99	83.7	351.5	1800.5
1981	182.6	104.6	165.9	136.7	142.8	208	153.2	69.4	230.4	135.2	152	81.8	1762.6
1982	84.2	124	183.4	31.2	60	147.2	67	115	42.2	112.8	282	171.4	1420.4
1983	259.8	283	169.2	247.8	278.6	186.9	491.6	299	131	91.6	209.2	175.5	2823.2
1984	190.5	187.4	204.9	121.9	212.5	125.2	119.8	121.6	79	96	179	193.2	1631
1985	202.6	286.9	154.5	81.7	38.1	106.1	71.4	172.7	70.2	148.2	98.1	67.9	1498.4
1986	97.3	91.6	49.8	34.6	14.5	14.3	73.7	51.5	112.8	174.3	171.4	149.4	1935.4
1987	204.4	132.6	3	37.5	188	17.7	112	154.8	87	314	153	196	1600
1988	178.1	70	77	62.9	00.0	32.5	2	10	172	130.5	66.2	94	895.2
1989	51.4	15.1	49.8	9.7	63.2	53.2	145.8	40.5	293.7	26.3	14.6	154.8	918.1
1990	183.5	101.4	136.4	220.7	51.3	15.8	103.4	70.4	104	126.4	227.9	153.2	1494.4

## ESTACAO METEOROLOGICA DE:URUSSANGA

LATITUDE - 28 31 LONGITUDE - 49 19 ALTITUDE (m) - 48 17

PERIODO - 1924 - 1990

ANO -	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAIO	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.	TOTAL
1924	119.4	88.8	502.7	139.6	79.6	37.2	121.5	73	131.5	65.4	147	130.4	1636.1
1925	320.3	119	166.5	127.7	136.5	83.7	22.3	99.5	60.5	147.4	230.4	217.9	1731.7
1926	312.2	71.7	91	215.4	153	91.5	218	29.5	253.9	74.9	104.6	51.2	1666.9
1927	185.3	128	210.7	156.9	94	172.1	16.6	146.3	48.8	158.6	129.2	170.5	1617.8
1928	144.2	172.3	233.7	163.4	264.7	199	82.3	342.6	181.1	159.9	65.5	134.7	2143.4
1929	411	74.2	126.3	48.5	69.5	106.6	91.9	145.3	120	189.5	67.1	74.9	1525.3
1930	389.6	392.4	53.8	44	79.2	94.6	47.4	133.1	62.8	149.4	183.2	110.8	1740.3
1931	166.6	49.6	286.9	130.1	95.6	123.2	198.3	63	133	46.3	77.7	158.3	1528.9
1932	223.4	359.3	72	122.2	148.8	54	66.2	78.9	209.7	202.1	96.5	214.2	1847.3
1933	143.5	255.2	148.5	95.4	72.9	79.2	99.5	102.1	118	143.7	116.3	134.5	1508.8
1934	278.3	316.9	87.1	148.8	59.6	95.10	93.3	59	157.8	63.3	92.3	118.3	1569.8
1935	116.8	155.4	97.2	61.4	54.3	76.2	79.7	93.3	143.9	98.7	93	197.2	1267.2
1936	246.4	140.9	130	47.2	103.7	131.9	100.4	179	119.5	171.1	142.6	59	1571.7
1937	204.1	179.3	158.2	198.1	75	71.5	49.2	253.2	141.4	171.3	233.8	82	1817.1
1938	227.3	108.7	122.5	118.6	97	139.9	69.6	61.9	66.9	95.3	108.4	76.2	1292.3
1939	104.7	239.7	247	101.6	146.8	69.2	16.4	120	218.4	59.9	254.7	173.2	1751.6
1940	213.7	186.1	44.2	46.5	90.1	30.5	30.4	252.6	70.9	287.6	85.3	255.1	1593
1941	174.2	134	154.1	131.9	157.7	99.9	84.6	52.4	81.7	59.40	146.2	102.5	1378.6
1942	61.2	18.1	285.2	139.4	62.3	15.8	61.1	43	145.9	77.8	57.9	58.6	1156.3
1943	185.1	78.3	77.6	19.1	88.9	128.2	93.9	98.9	86.7	114.5	53.1	58	1082.3
1944	447.8	127.9	139.9	98.4	13.2	149.6	42.1	60.7	60.7	61.2	155.9	59.3	1416.7
1945	74.1	177.6	114	51.1	34.3	60.9	71.5	27.1	110.8	83.3	79	74.5	958.2
1946	220.7	324.5	153.3	31.8	77.2	137.3	121.4	81	17.1	93.9	35.9	103.1	1397.2
1947	155.7	232.2	113.7	63	103.7	65.9	70	83.6	157.8	93.2	147.8	172.8	1459.4
1948	*	*	*	*	*	12.5	120.9	92	67.9	98.8	59.4	7.6	459.1
1949	228	70.3	231.5	116.1	28.6	95.7	82.2	74.4	139.7	101.8	59	150	1377.3
1950	184.8	246.9	205.9	155.4	93.2	33.6	27	54.9	82.4	118.7	167.2	140.2	1510.2
1951	306	307.9	72.5	135.9	16.7	35	19.1	0	128.3	170.1	84.8	146.9	1453.2
1952	207.8	100.4	104.9	29	81.2	175.1	53.5	49.9	56	187.6	146.3	146.9	1338.6
1953	110.8	223.6	123	78.8	80	21.7	71.6	73.7	127.8	189.2	159.3	231.4	1490.9
1954	225	179.4	188.7	270.5	62.8	116.7	169.1	102.8	274.8	131.1	41.7	87.5	1850.1
1955	82.2	225.8	152.3	204	115.4	21.2	84.8	42.3	62.2	43.8	65.2	109.9	1209.1
1956	186.2	123.6	126.9	65.9	58	77.4	32	71.1	122.5	133.1	27.7	52.6	1067
1957	121.5	128.6	175.4	178.7	74.6	46.9	83	143.9	137.1	160.6	110.8	108.1	1469.2
1958	165	147.3	203.7	48.2	113.3	148.2	24.4	91.4	93.3	116.6	196.1	159.7	1507.2
1959	207.4	159.4	69	107.2	90	60.2	23.3	109.7	187.4	51.3	24.9	73.6	1163.4
1960	179.5	277.3	262.6	62.6	37	67.5	47.4	181.7	93.4	139.4	86.7	51.1	1486.2
1961	150.8	183.7	285	88.7	56.9	114.5	110	37.2	295.8	146.7	236.5	172.3	1878.1
1962	155.5	122	146.4	91.3	65.8	39.5	126.6	62.6	187.9	65.6	89	70.8	1223
1963	292.5	170.9	319.6	17	44.1	30	111.8	195.1	222.3	190	128	61.3	1782.6
1964	78.4	145.4	167.7	116.9	42.5	73.4	80.3	59.3	156.1	161.3	51.1	140.7	1273.1
1965	114.3	141.2	171.1	100.5	105.5	38.5	53	458.3	209.1	90.9	141.6	152.1	1776.1
1966	299.1	367.8	176.7	201.7	41.1	75.4	70.1	80.4	112	1312.1	89.7	161	1807.1
1967	165.7	350.9	98.9	68.2	34.8	66.9	78.9	82.6	278.1	80.5	106.9	67.9	1480.3
1968	141	58.8	114.3	41	14.4	57.1	45.5	29.8	218.9	122.6	101.7	262.9	1208
1969	199.8	214.8	94.5	125	93.6	81.2	74	119.4	94.2	94	212.2	17.4	1420.1
1970	98	130.8	264	72.3	106.4	93.5	105.1	99.4	73.7	119.9	38.3	*	1201.4
1971	254	388	203.7	97.7	99.6	99.6	74.2	157.8	61.9	*	17.6	34.3	1488.8
1972	265.4	365.9	213.8	122.2	26.7	143.7	105.4	146.2	150.4	140.3	89.4	*	1769.4
1973	256.9	290.4	107.9	80.2	97.3	96.9	185	*	115	100.9	116.1	107.6	1554.2
1974	44.8	359.7	*	64	106.2	108.9	99.1	33.8	40.9	62.4	123.4	104.9	1148.1
1975	109.5	112.7	122.3	88.4	*	61	48.6	168.2	165.6	205.5	140.6	233.7	1456.1
1976	281.8	98.8	202.9	14.3	317.8	77	77.4	148	98.7	89.5	178.7	202.1	1787
1977	256	200	238.5	60	47.3	46.2	91.8	382.8	95.9	147.4	120.3	151.8	1838
1978	256.3	151	138.8	15	30.7	21.1	58.2	77.3	125.6	135.6	147	189	1345.6
1979	38.9	224.9	156.2	88.3	113.7	29.4	69	59.9	86.9	120.7	188.3	291.2	1467.4
1980	204.4	209.2	217	80.8	94.2	48.1	157.5	145.1	*	131.3	64.5	325.5	1677.6
1981	128.2	135.5	144.6	169.2	141.5	159.8	157.8	54.6	30.5	28.1	115.8	115.4	1381
1982	71.6	190.4	250.1	81.4	69.9	123.9	70.4	83.1	52.3	235.5	162	191.2	1581.8
1983	320.8	182.6	194.8	176.3	172	168.1	451.1	268.4	57.5	77.1	224.5	318.6	2611.8
1984	293.7	97.4	206.7	147.1	78.1	107.3	116.1	143.7	125.1	98.8	165.2	207.3	1786.5
1985	88.8	502.7	139.6	79.6	37.2	121.5	73	131.5	65.4	147	130.4	110.2	1626.9
1986	119	166.5	127.7	136.5	83.7	22.3	99.5	60.5	147.4	230.4	217.9	157.1	1568.5
1987	234.3	266.8	91.6	135.4	235.6	118.3	171.7	243	77.2	302.6	118.4	116	2110.9
1988	240.2	108	124.6	*	58.5	88	30.3	15.1	187.7	120.1	79.5	126.7	1178.7
1989	292.4	156.8	131.8	149.8	140.2	55.4	*	74.5	254	59.7	57.8	121.8	1494.2
1990	177.2	249	77.8	157.2	110.7	83.9	78.4	63.5	142.6	226.2	186.2	228.6	1781.3

## CARACTERÍSTICAS DOS PONTOS AMOSTRADOS

LOCALIZAÇÃO		COORDENADAS UTM				NÍVEL ESTATICO		
N.º do P.	Local	Município	N	E	cota	Diametro	Prof.	cota
1.1CR	SAO MARCOS	CRICIUMA			89,00	1,00	1,85	87,15
1.2CR	SAO MARCOS	CRICIUMA			50,00	1,00	2,33	47,77
1.3CR	MINA DO TOCO	SIDERÓPOLIS					1,00	34,00
1.4CR	SAO MARCOS	SIDERÓPOLIS	6829900,00	655620,00	35,00	1,00	1,16	33,89
1.5CR	SAO MARCOS	SIDERÓPOLIS	6830750,00	657200,00	98,00	1,00	8,94	89,06
1.6CR	ILARANJINHA	SIDERÓPOLIS	6829800,00	654850,00	45,00			VERTENTE
1.7CR	REST. D. ZINHA	SIDERÓPOLIS	6829300,00	654200,00	55,00			VERTENTE
1.8CR	RIO MAINA	SIDERÓPOLIS	6828550,00	654550,00	49,00	1,00	2,77	46,23
1.9CR	RIO MAINA	SIDERÓPOLIS	6828200,00	655500,00	38,00	1,00	4,74	33,26
1.10CR	IVILA FLORESTA	SIDERÓPOLIS	6836258,00	656100,00	35,00	1,00	1,22	33,78
1.27	ESTR. RIO JORDÃO-SIDERÓPOLIS	SIDERÓPOLIS	6836258,00	650433,00	87,01			VERTENTE
1.41	FORQUILHA	SIDERÓPOLIS	6847168,00	651282,00	185,25	1,00	4,60	180,65
1.47	MINA VOLTA REDONDA	SIDERÓPOLIS	6840560,00	650950,00	105,00	1,00	3,25	101,75
1.58	RIO FLORITA	SIDERÓPOLIS	6835550,00	650330,00	84,20	1,00	1,80	82,40
1.62	RIO FLORITA	SIDERÓPOLIS	6836672,00	650289,00	83,07	0,10	2,09	80,98
1.71	IVERDINHO	SIDERÓPOLIS			100,30	1,00	1,56	98,74
1.99	FIORITA	SIDERÓPOLIS	6837098,00	654213,00	121,77	1,00	2,95	118,82
1.100	SIDERÓPOLIS	SIDERÓPOLIS	6835386,00	653418,00	114,65	1,20	2,16	112,49
1.109	SIDERÓPOLIS	SIDERÓPOLIS	6834825,00	649700,00	99,35			VERTENTE
1.112	FORQUILHA	SIDERÓPOLIS	6848304,00	651568,00	180,97			VERTENTE
1.113	TREVISÓ	SIDERÓPOLIS	6846290,00	650460,00	180,00	0,10	0,59	180,38
1.114	TREVISÓ DO SUL	SIDERÓPOLIS	6843676,00	650735,00	136,45	1,00	2,50	133,95
1.118	TREVISÓ	SIDERÓPOLIS	6843623,00	650146,00	130,99	0,10	3,10	127,89
1.119	TREVISÓ	SIDERÓPOLIS	685027,00	650910,00	144,78	1,00	2,47	142,31
1.122	IVILA NECI	SIDERÓPOLIS	6839390,00	649730,00	100,08	1,00	4,35	95,73
1.123	VOLTA GRANDE	SIDERÓPOLIS	6841835,00	650790,00	159,40	1,00	2,70	156,70
1.130	ILINHA FERREIRA PONTES	SIDERÓPOLIS	6831872,00	656860,00	150,42	1,00	3,40	147,02

ANEXO 1 - INVENTARIO DE POÇOS PROFUNDOS PERFURADOS NA REGIÃO DE ESTUDO

Nº	PROF. (m)	NE. (m)	ND. (m)	Q m <sup>3</sup> /h	SP m <sup>3</sup> /h/m	T m <sup>2</sup> /dia
165	100	2,10	6,20	12,00	2,92	85,7
168	60,54	21,7	23,0	8,00	6,15	180,2
170	40	5,80	13,60	9,00	1,15	33,78
171	122	6,70	27,00	8,00	0,39	11,50
173	40	13,60	19,00	6,8	1,26	82,96
175	50	25,30	29,90	4,00	0,86	25,46
176	91	2,50	5,00	16,00	6,4	187,40
177	120	5,50	34,00	8,00	0,28	8,20
178	40	4,00	19,20	6,00	0,39	11,55
180	70	2,30	6,50	12,00	2,85	83,65
181	70	5,30	36,00	3,00	0,09	2,90
182	120	22,00	40,00	4,00	0,22	6,50
183	60	2,00	12,80	12,00	1,11	32,53
184	90	22,00	30,00	10,28	1,28	37,62
187	80	29,70	35,00	6,00	1,13	33,14
188	58	24,80	30,00	5,00	0,96	28,15
190	64,30	1,40	4,00	18,00	6,92	202,70
191.1	100	26,00	39,00	4,80	0,36	10,80
191.2	160	27,00	74,00	8,80	0,18	5,47
192	70	1,30	5,05	18,00	4,80	140,54
193	40,5	7,00	12,80	10,00	1,72	50,48
204	106	5,00	21,50	13,10	0,79	23,24
209	60	1,40	8,40	14,40	2,05	60,23
210	120	1,00	10,50	20,57	2,16	63,40
215	110	5,00	9,10	16,00	3,90	114,30



cont.

Nº	PROF. (m)	NE. (m)	ND (m)	Q m³/h	sp m³/h/m	T m²/dia
216	160	20,00	28,00	11,00	1,37	40,26
220	120	2,00	81,00	28,80	0,36	10,67
221	120	4,00	15,00	15,00	1,36	39,90
222	118	4,00	9,00	13,00	2,60	76,13
P-1	130	6,00	90,00	4,50	0,05	1,56
P-2	102,50	5,00	42,00	22,50	0,60	17,80
P-3	120	4,15	30,00	132,00	5,11	149,50
P-4	150	13,50	101,0	4,00	0,04	1,34
1709	100	6,00	63,00	1,50	0,02	0,77
2481	188	1,00	115,0	21,80	0,19	5,6
2429	106	3,00	56,00	9,00	0,13	5,0
15-C	100	7,22	34,14	15,8	0,58	14,08

PROF. - Profundidade NE - Nível Estático ND - Nível Dinâmico  
Q - Vazão sp - Capacidade Específica T - Transmissividade

## ANEXO 2

### RESULTADOS DAS ANALISES FÍSICAS, FÍSICO-QUÍMICAS E QUÍMICAS DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

#### MEMBRO SIDERÓPOLIS

1984 - RESULTADOS OBTIDOS POR MACHADO, J.L. et alli (1984)

1990 - RESULTADOS OBTIDOS PELO MESTRANDO

#### MEMBRO TRIUNFO

RESULTADOS OBTIDOS JUNTO A CASAS E DE POÇOS TUBULARES PROFUNDOS DE  
PARTICULARES

ANEXO 2 - RESULTADOS DAS ANALISES FÍSICO-QUÍMICAS DA  
 ÁGUA SUBTERRÂNEA DO MEMBRO SIDERÓPOLIS  
 AMOSTRAGEM 1984

AMOSTRA	pH	Alcalinidade mg/l CaCO <sub>3</sub>	Acidez	Pureza gF	Resíduo Seco mg/l	Condutividade µmho/cm
18	6,9	118	-	18,8	705,6	666
27	3,7	-	1740	-	966,0	440
40	5,4	17	-	1,9	1011,0	145
41	6,5	14	23	1,1	61,4	175
58	4,4	3	117	2,9	89,8	211
59	3,1	-	2150	35,0	5879,2	4902
62	3,7	-	474	130,0	4285,8	3830
64	7,0	-	23	6,4	149,4	280
71	5,5	-	39	1,3	45,2	68
91	5,8	-	15	1,9	74,0	92
99	5,2	-	41	2,2	72,8	148
100	3,9	-	103	9,1	205,6	478
111	4,9	-	40	1,8	99,6	162
113	4,3	-	77	1,9	73,4	153
114	4,8	-	17	1,9	58,8	81
118	3,4	-	686	32,0	1380,4	815
119	7,1	25	13	6,1	106,2	259
123	4,8	-	18	1,1	46,4	80
130	4,2	-	59	1,2	57,0	124

ANEXO 2 - RESULTADOS DAS ANALISES QUÍMICAS DA ÁGUA  
SUBTERRÂNEA DO MEMBRO SIDERÓPOLIS  
AMOSTRAGEM 1984 (mg/l)

AMOSTRA	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
18	60,0	11,1	71,0	2,8	143,2	8,0	143,9
27	8,0	17,3	2,8	1,7	625	24,9	-
40	3,1	3,0	11,3	2,9	27,5	5,0	20,7
41	2,4	1,1	10,9	3,4	8,7	9,5	14,6
58	6,8	2,9	2,2	14,7	14,7	21,2	2,6
59	42,5	127,8	18,0	7,6	2360,0	12,1	-
62	475,0	32,8	28,2	5,6	1750,0	21,6	-
64	21,6	2,3	18,6	1,0	18,0	4,3	90,3
71	2,8	1,4	3,4	< 0,5	1,0	6,7	17,1
91	3,6	2,6	5,5	0,8	1,6	10,0	14,0
99	4,0	2,8	8,0	3,3	13,0	13,2	4,9
100	24,0	7,5	11,8	4,5	98,9	14,5	-
111	1,6	3,4	9,7	6,6	5,5	16,7	8,5
113	3,2	2,3	5,1	3,7	7,0	13,9	6,1
114	2,3	3,2	4,2	2,2	3,0	13,2	6,2
118	54,9	46,8	8,1	2,2	420,0	5,3	-
119	12,8	6,9	4,8	1,9	21,2	10,0	27,1
123	1,6	1,7	3,0	1,9	2,2	10,3	6,0
130	2,0	1,7	4,6	1,2	1,6	12,1	6,1

ANEXO 2 - RESULTADOS DOS NÚMEROS DE MILIEQUIVALENTES DA  
 ÁGUA SUBTERRÂNEA DO MEMBRO SIDERÓPOLIS  
 AMOSTRAGEM 1984

AMOSTRA	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
18	2,99	0,91	3,00	0,07	2,98	0,22	2,35
27	0,39	1,42	0,12	0,04	13,01	0,70	-
40	0,15	0,24	0,49	0,07	0,57	0,70	0,33
41	0,12	0,09	0,47	0,08	0,18	0,27	0,23
58	0,33	0,23	0,09	0,37	0,30	0,59	0,42
59	2,12	10,51	0,78	0,19	49,13	0,34	-
62	23,70	2,69	1,22	0,14	36,43	0,60	-
64	1,07	0,18	0,80	0,02	0,37	0,12	1,48
71	0,13	0,11	0,11	0,01	0,02	0,18	0,28
91	0,17	0,21	0,23	0,02	0,03	0,28	0,22
99	0,19	0,23	0,34	0,08	0,27	0,37	0,08
100	1,19	0,61	0,51	0,11	2,05	0,40	-
111	0,05	0,27	0,42	0,16	0,11	0,47	0,13
113	0,15	0,18	0,22	0,09	0,14	0,39	0,10
114	0,11	0,26	0,18	0,05	0,06	0,37	0,10
118	2,73	3,84	0,35	0,05	8,74	0,14	-
119	0,63	0,56	0,20	0,04	0,44	0,28	0,44
123	0,07	0,13	0,13	0,04	0,04	0,29	0,10
130	0,09	0,13	0,20	0,03	0,03	0,34	0,10

ANEXO 2 - PORCENTAGENS DE MILIEQUIVALENTES DA AGUA  
SUBTERRÂNEA DO MEMBRO SIDERÓPOLIS  
AMOSTRAGEM 1984

AMOSTRA	Ca++	Mg++	Na+	K+	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl-	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
18	43,00	13,00	43,00	1,00	53,70	4,00	42,3
27	20,08	71,61	6,14	2,17	94,89	5,11	-
40	15,79	25,26	51,58	7,37	35,62	43,75	20,63
41	15,79	11,84	61,85	10,52	26,47	39,71	33,82
58	32,28	22,77	9,15	35,80	32,31	63,15	4,55
59	15,59	77,23	5,75	1,43	99,31	0,69	-
62	85,35	9,71	4,44	0,50	98,35	1,65	-
64	51,29	8,99	38,48	1,24	18,98	6,12	74,90
71	33,65	27,65	35,58	3,12	4,28	38,57	57,15
91	27,56	32,77	36,60	3,07	6,00	51,83	42,17
99	23,20	26,68	40,37	9,75	37,48	51,45	11,07
100	49,04	25,25	20,99	4,72	83,48	16,52	-
111	5,55	30,00	46,67	17,78	15,49	66,20	18,02
113	24,03	28,38	33,33	14,26	22,88	61,44	15,68
114	18,63	42,63	29,66	9,08	11,56	69,40	19,04
118	39,15	55,01	5,04	0,80	98,31	1,69	-
119	44,05	39,17	13,99	2,79	37,93	24,13	37,94
123	18,90	35,10	35,10	10,90	10,57	66,89	22,53
130	21,23	29,72	42,46	6,59	6,96	71,94	21,10

ANEXO 2 - ANÁLISES QUÍMICAS DE METAIS PESADOS  
AMOSTRAGEM 1984. (mg/l)

AMOSTRA	Cd	Pb	Co	Cu	Cr	Fe	Mn	Ni	Zn
27	0,002	0,015	0,092	0,05	0,010	50	4,3	0,102	0,68
40	<0,001	0,005	<0,003	<0,003	<0,005	23,4	0,195	<0,003	0,489
41	0,002	<0,005	<0,003	<0,003	<0,005	0,15	0,002	<0,003	<0,01
58	<0,001	<0,005	<0,003	<0,003	0,008	0,3	0,18	<0,003	0,05
59	ND	0,020	0,750	0,016	0,025	700	51,00	0,625	6,0
63	ND	0,018	0,125	0,014	0,018	240	24,00	0,125	2,4
64	<0,001	<0,005	<0,003	<0,003	<0,005	ND	0,25	<0,003	<0,01
71	0,002	<0,005	<0,003	<0,003	<0,005	ND	0,001	<0,003	<0,01
91	<0,001	<0,005	<0,003	<0,003	<0,005	0,3	0,004	<0,003	<0,01
99	<0,001	0,016	<0,003	<0,015	<0,005	1,2	0,015	<0,003	<0,01
100	0,001	0,016	0,004	<0,003	<0,005	0,1	0,255	0,003	0,09
111	0,001	0,005	0,006	<0,003	<0,005	0,8	0,041	0,007	0,02
113	0,001	<0,005	<0,003	<0,003	<0,005	0,3	0,070	<0,003	0,02
114	0,002	<0,005	0,003	<0,003	0,008	1,2	0,047	<0,003	0,01
118	0,004	0,040	0,125	0,006	0,005	6,0	7,40	0,125	4,5
119	<0,001	<0,005	<0,003	0,003	0,005	0,1	0,003	<0,003	0,02
123	<0,001	<0,005	<0,003	<0,003	0,005	ND	0,003	<0,003	0,01
130	<0,001	0,010	<0,003	<0,003	0,005	0,6	0,016	0,003	0,01

ANEXO 2 - RESULTADOS DAS ANALISES FÍSICO-QUÍMICAS DA  
 ÁGUA SUBTERRÂNEA DO MEMBRO SIDERÓPOLIS  
 AMOSTRAGEM 1990

Ponto	pH	Alcalinidade mg/l CaCO <sub>3</sub>	Acidez	Dureza (9F)	Resíduo Seco mg/l	Condutividade µmho/cm
1CR	4,4	6,18	12,68	10,0	42,0	130
2CR	4,9	7,21	2,93	132,6	22,0	27
3CR	4,5	4,64	7,80	51,0	43,0	76
4CR	4,4	1,10	7,80	20,4	4,0	100
5CR	4,4	3,30	14,63	26,52	4,0	122
6CR	4,3	4,88	4,88	15,30	32,0	65
7CR	4,4	1,10	35,10	49,98	70,0	271
8CR	4,4	2,20	13,65	21,42	47,0	206
9CR	4,7	3,30	3,90	18,36	ND	163
10CR	6,1	33,00	2,93	43,86	52,0	166
27	2,7	-	ND	-	ND	479
41	5,4	17,10	11,70	-	87,0	88
47	3,2	11,70	9,0	-	351,0	217
58	4,9	15,53	9,0	-	121,0	217
62	5,6	24,15	8,7	91,80	4700,0	108
63	5,6	ND	3,9	102,0	50,0	54
99	4,3	-	18,08	-	80,5	64
100	3,7	-	19,04	-	264,5	96
109	4,5	14,5	92,7	-	25,0	32
113	4,4	10,8	36,0	-	67,0	76
119	4,9	14,5	27,0	-	72,0	79
122	4,3	-	9,42	-	212,0	127
123	4,6	15,0	15,23	-	119,0	26
130	4,5	8,5	33,15	71,4	38,0	163



ANEXO 2 - RESULTADOS DAS ANALISES QUÍMICAS DA ÁGUA  
SUBTERRÂNEA DO MEMBRO SIDERÓPOLIS  
AMOSTRAGEM 1990 (mg/l)

AMOSTRA	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
1CR	20,40	12,40	62,0	60,0	24,46	13,01	6,18
2CR	20,40	19,84	45,0	10,0	ND	6,50	7,21
3CR	12,24	4,96	56,0	20,0	14,96	5,57	4,64
4CR	4,49	2,23	55,0	47,0	8,98	8,83	1,10
5CR	5,30	3,22	72,0	24,0	21,36	7,90	3,30
6CR	3,67	1,49	47,0	17,0	ND	16,26	3,30
7CR	10,61	5,70	13,7	35,0	38,13	10,68	1,10
8CR	5,30	1,98	59,0	27,0	3,40	6,50	2,20
9CR	1,22	3,72	40,0	3,0	ND	12,54	4,70
10CR	11,83	3,47	138,0	72,0	15,17	18,54	40,30
27	3,48	7,15	2,7	3,3	1072,92	4,07	-
41	0,56	2,60	11,55	4,05	72,85	17,37	17,10
47	3,04	7,05	49,0	22,87	18,75	75,26	-
58	2,61	4,50	7,5	18,0	150,00	11,32	11,70
62	10,20	2,48	56,0	18,0	11,25	4,64	15,53
71	77,52	18,84	51,0	17,0	2,57	2,79	24,15
99	1,40	2,50	9,6	2,55	33,33	20,76	-
100	4,72	4,65	7,35	7,20	200,00	13,84	-
109	0,45	3,40	3,0	0,60	3,75	4,53	14,50
113	12,24	2,95	5,1	4,05	35,75	7,70	10,80
119	1,43	0,07	7,5	2,7	5,41	11,32	14,50
122	1,31	9,70	99,0	105,0	20,0	51,89	2,00
123	1,11	2,25	3,6	2,25	8,88	13,84	2,00
130	40,80	9,92	71,0	33,0	ND	16,26	8,05

ANEXO 2 - RESULTADOS DOS NÚMEROS DE MILIEQUIVALENTES DA ÁGUA  
SUBTERRÂNEAS DO MEMBRO SIDERÓPOLIS. AMOSTRAGEM 1990

AMOSTRA	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
1CR	1,02	1,03	2,69	1,53	0,51	0,36	0,12
2CR	1,02	1,65	1,95	0,25	ND	0,18	0,14
3CR	0,61	0,41	2,43	0,51	0,31	0,15	0,09
4CR	0,22	0,18	2,39	1,20	0,19	0,25	0,02
5CR	0,26	0,27	3,13	0,61	0,44	0,22	0,06
6CR	0,18	0,12	2,04	0,43	ND	0,43	0,06
7CR	0,53	0,47	5,95	0,89	0,80	0,30	0,02
8CR	0,26	0,16	2,56	0,69	0,07	0,18	0,04
9CR	0,06	0,31	1,74	0,07	ND	0,35	0,06
10CR	0,60	0,29	6,00	1,84	0,31	0,52	0,66
27	0,17	0,58	0,11	0,08	22,39	0,11	-
41	0,02	0,21	0,50	0,10	1,51	0,48	0,34
47	0,15	0,58	2,16	0,61	0,39	2,12	-
58	0,13	0,37	0,32	0,46	3,12	0,31	0,23
62	0,51	0,20	2,43	0,46	0,23	0,13	0,31
71	3,86	1,55	2,21	0,43	0,53	0,07	0,48
99	0,07	0,20	0,41	0,06	0,69	0,58	-
100	0,23	0,38	0,31	0,18	4,16	0,39	-
109	0,02	0,27	0,13	0,01	0,07	0,12	0,29
113	0,61	0,24	0,22	0,10	0,74	0,21	0,21
119	0,07	0,06	0,32	0,06	0,11	0,31	0,29
122	0,06	0,79	4,30	2,68	0,41	1,46	0,04
123	0,05	0,18	0,15	0,05	0,18	0,39	0,04
130	2,04	0,82	3,08	0,84	ND	0,45	0,16

ANEXO 2 - PORCENTAGENS DE MILIEQUIVALENTES DA AGUA  
SUBTERRANEA DO MEMBRO SIDERÓPOLIS.  
AMOSTRAGEM 1990.

Ponto	Ca++	Mg++	Na+	K+	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl-	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
1CR	16,27	16,43	42,90	24,40	51,51	36,36	12,13
2CR	20,94	33,89	40,04	5,13	-	56,25	43,75
3CR	15,40	10,36	61,36	12,88	56,36	27,27	16,37
4CR	5,51	4,52	59,90	30,07	41,30	54,35	4,35
5CR	6,09	6,32	73,30	14,29	61,11	30,55	8,34
6CR	6,50	4,33	73,64	15,53	-	87,75	12,25
7CR	6,75	6,00	75,90	11,35	71,42	26,78	1,80
8CR	7,09	4,36	69,75	18,80	24,13	62,06	13,81
9CR	2,75	14,22	79,82	3,21	-	85,36	14,64
10CR	6,87	3,33	68,72	21,08	20,80	34,90	44,30
27	18,08	61,70	11,70	8,52	99,50	0,50	-
41	2,42	25,30	60,24	12,04	64,80	20,60	14,60
47	4,29	16,58	61,71	17,42	15,54	84,46	-
58	10,15	28,90	25,00	35,95	85,24	8,46	6,30
62	14,15	5,50	67,60	12,75	34,32	19,40	46,28
71	47,95	19,25	27,45	5,35	49,07	6,50	44,43
99	9,46	27,03	55,40	8,11	54,34	45,66	-
100	20,90	34,55	28,18	16,37	91,43	8,57	-
109	4,65	62,80	30,23	2,32	14,58	25,00	60,42
113	52,14	20,52	18,80	8,54	63,80	18,10	18,10
119	15,35	1,32	70,17	13,16	15,50	43,66	40,84
122	0,78	10,09	54,91	34,22	21,46	76,43	2,11
123	11,63	41,85	34,89	11,63	29,50	63,93	6,57
130	30,10	12,10	45,42	12,38	-	73,77	26,23

ANEXO 2 - ANALISES QUÍMICAS DE METAIS PESADOS  
AMOSTRAGEM 1990 (mg/l)

AMOSTRA	Cd	Pb	Cu	Cr	Fe	Mn	Hg	Ni	Zn
1CR	0,0041	-	0,023	0,01	0,003	0,138	0,0086	0,26	-
2CR	0,0036	0,019	0,021	-	-	-	-	0,0086	-
3CR	0,0072	-	0,030	0,01	0,55	0,594	-	-	-
4CR	0,010	-	0,021	0,0016	0,034	0,094	0,0107	0,026	-
5CR	0,0077	0,119	0,016	-	0,013	0,228	0,0015	0,087	-
6CR	0,0082	0,030	-	-	0,018	0,161	-	0,065	-
7CR	0,020	0,190	0,021	-	0,103	0,746	0,014	0,043	-
8CR	-	-	0,021	-	0,022	0,038	0,028	0,052	-
9CR	-	-	0,016	-	0,034	0,027	-	0,078	-
10CR	-	-	0,026	0,0032	0,290	0,105	-	0,017	0,003
27	-	-	-	-	22,68	1,27	-	-	0,47
40	0,0067	0,046	0,281	0,072	33,36	-	0,047	0,026	0,004
41	-	-	-	-	0,264	-	-	-	0,32
47	-	-	-	-	0,082	0,07	-	-	0,35
58	-	-	-	-	7,23	0,242	-	-	1,64
62	0,0067	0,115	0,255	0,363	29,44	-	0,084	0,122	0,004
71	0,0036	-	0,025	0,01	0,85	0,205	0,0073	0,026	0,003
99	-	-	0,014	-	0,099	-	-	-	0,38
100	-	-	-	-	0,086	0,401	-	-	0,30
109	-	-	-	-	0,784	0,12	-	-	0,31
113	-	-	-	-	0,414	-	-	-	0,31
118	0,0061	0,056	0,053	0,112	19,79	-	0,187	0,096	0,010
119	-	-	-	-	0,056	-	-	-	0,35
122	0,0129	0,021	0,217	0,282	0,106	12,52	0,085	1,08	0,312
123	-	-	-	-	0,125	-	-	-	0,34
130	0,0051	-	0,033	0,01	0,91	0,094	0,0014	0,052	-

ANEXO 2 - RESULTADOS DAS ANALISES FÍSICO-QUÍMICAS DA  
ÁGUA SUBTERRÂNEA DO MEMBRO TRIUNFO

Amostra	pH	Alcalinidade em CaCO <sub>3</sub>	Dureza g/l	Resíduo Saco mg/l	Condutividade µmhos/cm/
1MT	7,4	193,4	13	882	--
2MT	7,5	207	12,3	581	--
3MT	9,7	66	4	285,6	255
4MT	7,3	98	7,9	216	--
5MT	8,2	220	13,9	571,5	--
6MT	7,2	100	7,5	186	276,25
7MT	6,5	47	3,5	60	--
8MT	6,7	47	2,9	--	132,6

ANEXO 2 - RESULTADOS DAS ANALISES QUÍMICAS DA ÁGUA  
SUBTERRÂNEA DO MEMBRO TRIUNFO (mg/l)

Amostra	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
1MT	129,1	2,3	140,2	3,0	4,6	446,3	235,9
2MT	103,0	12,0	64,0	2,0	19,0	213,0	252,5
3MT	36,9	4,0	7,28	--	11,0	57,4	80,5
4MT	29,5	2,62	26,40	2,5	20,00	23,0	119,56
5MT	29,5	15,49	43,10	--	780,35	912,85	268,40
6MT	29,9	3,24	1,95	--	15,00	--	122,00
7MT	28,0	0,15	10,06	--	15,20	10,30	57,34
8MT	15,48	13,89	9,59	--	14,50	--	57,34

ANEXO 2 - RESULTADOS DOS NÚMEROS DE MLIEQUIVALENTES  
DA AGUA SUBTERRANEA DO MEMBRO TRIUNFO

Amostra	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
1MT	6,44	0,18	6,09	0,07	0,12	9,28	3,86
2MT	5,13	0,98	2,78	0,05	0,53	4,43	4,14
3MT	1,84	0,32	0,31	--	0,31	1,19	1,32
4MT	1,47	0,21	1,14	0,06	0,56	0,47	1,96
5MT	1,47	1,27	1,87	--	22,00	18,98	4,40
6MT	1,49	0,26	0,08	--	0,42	--	2,00
7MT	1,39	0,01	0,43	--	0,42	0,21	0,94
8MT	0,77	1,14	0,41	--	0,40	--	0,94